Dukert

PHYSIOLOGISCHE STUDIEN

ÜBER DIE

ORIENTIERUNG

UNTER ZUGRUNDELEGUNG

VON

YVES DELAGE

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR LES ILLUSIONS STATIQUES ET DYNAMIQUES DE DIRECTION POUR SERVIR À DÉTERMINER LES FONCTIONS DES CANAUX DEMICIRCULAIRES DE L'OREILLE INTERNE

VON

HERMANN AUBERT
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT ROSTOCK

MIT EINEM ANHANGE:

PURKINJE'S BULLETIN VON 1825: ÜBER DEN SCHWINDEL

TÜBINGEN 1888
VERLAG DER H. LAUPP'SCHEN BUCHHANDLUNG

DRUCK VON H. LAUPP JR. IN TÜBINGEN.

INHALT.

I. Theoretische Vorbemerkungen über Raumvorstellung und Raumempfindung.

Mit dem Bewusstwerden unserer Empfindungen ist die Notwendigkeit verbunden, denselben einen Ort im Raume anzuweisen. Wir lokalisieren unsere Empfindungen entweder innerhalb oder ausserhalb unsres Körpers, und unterscheiden darnach Gemeingefühle (Schmerz, Ekel u. s. w.) und Sinnesthätigkeiten, von denen wir die ersteren in unsern Körper, die letzteren in den Raum ausserhalb unseres Körpers verlegen. — Von der Art der Empfindung, der spezifischen Energie unserer Organe ist die Lokalisation unabhängig, aber alle unsere Empfindungen ohne Ausnahme müssen an irgend eine Stelle des Raumes verlegt werden.

Ein derartiger Zwang fordert die Annahme eines Organes, welches in dieser bestimmten Weise zu fungieren hat und zwar unabhängig von der spezifischen Funktion unserer Empfindungsorgane, eines Organes, welches seine eigene spezifische Funktion hat und zwar die Funktion, den Raum zu schaffen als allgemeine Vorstellungsform.

Die bezeichnete Funktion ist eben so spezifisch, wie die Funktion des Sehnervenkomplexes, Licht zu empfinden oder des Gehörnervenkomplexes, Schall zu empfinden u. s. w. Wie wir ausser Stande sind von unserem Sehnerven etwas anderes als Licht empfinden zu lassen, so ist auch die Vorstellung des Raumes eine ursprünglich gegebene, unabänderliche Funktion eines nicht bekannten Organes, und kann daher nicht als erworben angesehen werden.

Die reine aprioristische Vorstellung des Raumes, als Funktion eines besonderen Organes ist nun weiterhin die Voraussetzung für die Kombination seiner Funktion mit andern spezifischen

Nervenfunktionen. Alle unsere Empfindungen werden auf den Raum bezogen und dadurch die reine Vorstellung vom Raume zu einer konkreten Vorstellung umgewandelt. Erst diese konkrete Vorstellung vom Raume ist es, welche uns als wirklicher Raum imponiert und uns veranlasst, unsere Empfindungen so aufzufassen, dass denselben irgend welche Teile des Raumes entsprechen, oder wie wir zu sagen pflegen, unsere Empfindungen in den Raum zu projizieren.

So gelangen wir zu Raumwahrnehmungen, d. h. zu objektivierten Raumempfindungen, indem wir unsere mit Inhalt ausgestatteten Raumempfindungen als korrelat oder geradezu als identisch mit wirklichen Objekten im wirklichen Raume ansehen und zu einer Abgrenzung von Raumteilen im Raume gelangen: zu Körpern.

Wir besitzen für diese Wahrnehmungen eine Organisation in der Haut und Netzhaut, welche uns befähigt, die Erregungen der einzelnen Nervenendigungen in diesen Organen als räumlich getrennte oder distinkte von einander zu unterscheiden. Wir können diese Fähigkeit nur so deuten, dass wir qualitativ verschiedene Empfindungen durch extensiv verschiedene Erregungen oder Reize erhalten, denn wenn wir in unserem Sensorium eine isolierte Wahrnehmung für die zentrale Nervenfaserendigung statuieren, so legen wir die Schwierigkeit, welche erklärt werden soll, nur weiter zentralwärts, ohne eine Erklärung des Vorganges zu versuchen. Zwei von einander räumlich getrennte Empfindungen können also nur durch qualitative Differenzen in unserem Sensorium unterschieden werden. Welcher Art die Einrichtung zu dieser Umwandlung im Sensorium ist, darüber ist bis jetzt kaum eine Hypothese versucht worden — gleichwohl ist die Umsetzung extensiver Grössen oder extensiv verschiedener Erregungen der peripherischen Endorgane in intensiv oder qualitativ verschiedene Empfindungen der zentralen Endorgane unbedingt notwendig.

Die Kombination unserer spezifischen Empfindungen mit der Raumvorstellung zu extensiven Grössen ist im Anfange unseres Lebens wohl eine äusserst unbestimmte und vage, und um dieselbe auszubilden, bedarf es unzweifelhaft einer ausser-

ordentlich grossen Menge von Verknüpfungen der einzelnen Empfindungen untereinander und ausserdem einer Kombination mit intendierten und wirklich ausgeführten Bewegungen. Die Erwerbung einer konkreten Raumvorstellung und die Ausbildung derselben ist in tiefes Dunkel gehüllt, da sie in der frühesten Zeit unseres Lebens vor sich geht und die Beobachtung der Bewegungen kleiner Kinder nur unsichere Schlüsse auf etwa vorhandene Vorstellungen gestattet: denn wir wissen nichts darüber, wie weit diese Bewegungen als Reflexe im weitesten Sinne des Wortes oder als intendierte anzusehen sind, welche auf Grund gewisser Vorstellungen von Objekten im Raum ausgeführt werden. Wie hierbei Tastempfindungen, Gesichtsempfindungen, Bewegungen, Erfahrungen über den Erfolg von Bewegungen zusammengruppiert werden, scheint ein unentwirrbares Rätsel, dessen Lösung noch dadurch erschwert wird, dass vererbte Bewegungsintentionen sich einmischen.

Zwei Fragen sind es besonders, welche uns für das weiterhin zu behandelnde Problem der Orientierung interessieren, nämlich die Frage: wie wir zu der Unterscheidung oder Begrenzung unseres eigenen Körpers von dem übrigen Raume gelangen? und die Frage, wie wir zur Auffassung von den drei Dimensionen des Raumes kommen?

Zu der Auffassung unseres Körpers als etwas von dem übrigen Raume Verschiedenen muss wohl zunächst der Wille und die von ihm veranlassten Bewegungen unserer Glieder den Anstoss geben. Die Erfahrung, dass wir willkührliche Bewegungen ausführen können, welche irgend einen Erfolg haben, wird eine gewisse Ahnung des »Ich« auslösen und diese wird zu einer Unterscheidung desselben von Dingen Anlass geben, welche auf unsere Willensimpulse nicht reagieren. Demnächst würden die Differenzen der Empfindung in Anschlag zu bringen sein, welche beim Betasten des eigenen Körpers und beim Betasten anderer Körper entstehen, indem ersteren Falls zwei Empfindungen, die eine an der betasteten Körperstelle, die andere an dem tastenden Gliede entstehen, während im letzteren Falle nur die eine Empfindung an dem tastenden Gliede entsteht

Eine Korrektur dieser so erlangten Vorstellung von dem eigenen Körper wird fernerhin durch den Gesichtssinn erfolgen, wenn wir Teile unseres Körpers oder das Spiegelbild unseres Körpers sehen und dasselbe auf unseren eigenen Körper beziehen lernen. — Die ganz heterogenen Empfindungen des Tastsinnes und des Gesichtssinnes können wohl nur durch die Vermittlung von willkührlichen und bewussten Bewegungen aufeinander reduziert werden, indem wir diese an unserem Körper, so weit wir sie zu sehen imstande sind, mit den Augen und mit den tastenden Gliedmassen verfolgen. Der Gesichtssinn kann uns hierbei auch insofern zu Hilfe kommen, als wir uns selbst mit andern Individuen vergleichen und uns denselben ähnlich finden. —

Weiter beurteilen wir auf Grund unserer Raumempfindungen und zugleich mit Hilfe der Erfahrungen, welche wir über die Verhältnisse der Körper im Raume gewonnen haben, die Lage und Grösse der Körper in Beziehung auf unseren Körper, ohne indess hierbei nach einem einheitlichen Massstabe zu verfahren, welcher uns übrigens Zeit unseres Lebens zu fehlen scheint. Wir vergleichen ungefähr die Grösse eines Menschen mit der eines Baumes oder Hauses, aber nicht mit der eines Bleistiftes oder einer Erbse, und berücksichtigen keineswegs die Grösse der Netzhautbilder, welche so verschieden nach der Entfernung der Körper von uns sind, noch auch ihr Verhältnis zu den Angaben unseres Tastsinnes. Daher sind wir falschen Beurteilungen der Grösse und der Entfernung, d. h. Täuschungen über die relative Grösse vielfach ausgesetzt.

Wenn wir so die Wege, auf welchen wir zu einer Abgrenzung unseres Körpers von dem übrigen Raume gelangen, verfolgen können, so verhält es sich mit der Auffassung von den drei Dimensionen des Raumes ganz anders.

Die reine aprioristische und ebenso die konkrete Vorstellung des Raumes involviert die Annahme einer Ausdehnung desselben nach allen Dimensionen; die Reduktion derselben auf drei Dimensionen ist eine reine Abstraktion unseres Verstandes. Diese Abstraktion steht in keiner direkten Beziehung zu der Wahrnehmung des Räumlichen und

scheint ihren Ausgangspunkt von den Beobachtungen über den Fall der Körper im Raume oder über die Wirkungen der Schwere zu nehmen. Es ist sonst gar keine Veranlassung zu finden, wodurch wir bewogen werden könnten, die Vertikale irgend einer anderen Richtung gegenüber zu bevorzugen. An die Vertikale schliessen sich dann als mathematische Konstruktonen die horizontale und die sogenannte dritte Dimension an, und im weiteren Verfolge konstruieren wir dann vermöge der Verstandesoperation Flächen. Diese Erkenntnisse bringen wir allerdings in Beziehung zu unseren räumlichen Wahrnehmungen, aber sie stehen denselben ursprünglich eben so abstrakt gegenüber, wie etwa die Zahl einer Menge von Objekten gegenübersteht.

Zu unserer Orientierung über den Raum und im Raume sind diese Abstraktionen nicht erforderlich; die Tiere haben sicherlich diese Abstraktionen nicht gemacht und doch orientieren sie sich im Raume ebenso sicher, als die Menschen. — Wir gewinnen wohl durch unsere Empfindungen und Bewegungen gewisse rudimentäre Vorstellungen von oben und unten, rechts und links, fern und nah, welche mit Hilfe besonders darauf gerichteter Beobachtungen zu den exakteren Vorstellungen von horizontal, vertikal und sagittal ausgebildet werden können, und übertragen diese Vorstellungen endlich von dem Raume auf unsern Körper und auf einzelne Körperteile — aber die Auslegungen unserer räumlichen Wahrnehmungen in bezug auf die Richtungen der Körper im Raume und in bezug auf die Richtungen unseres eigenen Körpers zu denen im Raume sind sehr unsicher, und wir unterliegen daher Täuschungen, wenn es sich um eine genaue Bestimmung der drei Dimensionen unseres Körpers zu den drei Dimensionen des Raumes handelt. — Für gewöhnlich geben wir uns keine Rechenschaft über die Lage unseres Körpers im Raume, noch über die Stellung des Kopfes oder der Augen zu unserem Körper und zu einander und sind daher, wenn wir veranlasst werden, uns genauere Rechenschaft darüber zu geben, erstaunt über die Täuschungen, welchen wir unterliegen.

Gerade die Täuschungen aber und das Studium derselben ist es, welches uns auch hier über unsere Wahrnehm-

ungen und Empfindungen aufklärt, und geeignet ist, uns zur Erkenntnis derjenigen Vorgänge in uns zu verhelfen, durch welche wir zu unseren Vorstellungen von der Lage unseres Körpers und den Richtungen desselben in Beziehung auf die Richtungen des Raumes gelangen.

Wie wir durch die Untersuchungen von Smith über die Grösse des Mondes am Horizont und im Zenith zur Berichtigung unserer Vorstellungen über den Gesichtswinkel und die Schätzung der Grösse gekommen sind, so werden wir durch die Untersuchungen Delage's über die Vorstellungen, welche wir uns von den Richtungen im Raume machen, mittelst der hierbei stattfindenden Täuschungen und weiterhin über die Organe aufgeklärt, welche uns jene Vorstellungen verschaffen.

Aus dem Besprochenen geht aber bezüglich des letzteren Problems zur Genüge hervor, dass der Satz von Cyon's (Thèse pour le Doctorat en Médecine 1878 S. 73 und Gesammelte physiologische Arbeiten 1888 S. 318) »dass die halbzirkelförmigen Kanäle uns Empfindungen senden, die dazu dienen, die Vorstellung eines Raumes von 3 Dimensionen zu bilden«, bei näherer Ueberlegung völlig unhaltbar erscheint.

II. Zur Würdigung der Arbeit von Delage.

Die Abhandlung von Yves Delage beschäftigt sich mit dem schwierigen physiologischen Probleme unserer Orientierung im Raume, zu dessen Lösung andere Autoren Beiträge von verschiedenen Standpunkten aus geliefert haben. Bei aller Anerkennung des Wertes dieser Beiträge muss man Delage doch das Verdienst zuschreiben, die Fragen, welche hier in Betracht kommen, scharf präzisiert, nach streng induktiver Methode analysiert und ohne vorgefasste Meinung das Zustandekommen unserer Empfindungen und ihren ursächlichen Zusammenhang untersucht zu haben. Indem Delage die Grenzen innehält, bis zu welchen die Schlussfolgerungen aus den beobachteten Thatsachen führen können, vermeidet er es einerseits, einem Organe Funktionen zuzuschreiben, welche dasselbe nicht hat, andrerseits sucht und findet er diejenigen Organe heraus, welche die fraglichen Funktionen zu haben scheinen. So gewinnt er an

der Hand der Theorie neue Thatsachen, welche er, geleitet durch Versuche, für die theoretische Annahme verwertet.

Nachdem die halbzirkelförmigen Kanäle des inneren Ohres als ein Organ erkannt worden waren, welches für die Orientierung unseres Körpers im Raume von Bedeutung ist, stellt unser Autor die Frage: in welchen Teilen unseres Körpers die Fähigkeit, uns über unsere Körperlage im Raume zu orientieren, bei Ausschluss der Wahrnehmung durch den Gesichtssinn, ihren Sitz habe? Er sucht nun die Bedingungen zu ermitteln, unter denen wir die richtige Orientierung verlieren, d. h. Täuschungen über unsere Körperstellung ausgesetzt sind und findet, dass das sowohl bei ruhendem, unbewegten Körper, als bei bewegtem Körper der Fall sein kann. Bei unbewegtem Körper findet er Desorientierung, wenn der Kopf um eine seiner Achsen gedreht wird, während der übrige Körper unbewegt bleibt — das sind seine statischen Täuschungen. Die den Kopf bewegenden Muskeln, die Halsmuskeln können es, seinen Versuchen nach, nicht sein — die Augenmuskeln könnten es sein und sie sind es in der That, welche trotzdem, dass die Augen geschlossen sind, Täuschungen über unsere Orientierung veranlassen, denn sie bewegen die Augäpfel in gleichem Sinne mit den Bewegungen des Kopfes.

Da nun der Augenbewegungsapparat es ist, welcher die statischen Täuschungen der Orientierung bedingt, so können es nicht die halbzirkelförmigen Kanäle sein, auf welche ausserdem eine Einwirkung der Kopfdrehungen nicht stattfinden kann.

Wird ferner dem Gesamtkörper eine andere ungewöhnliche Lage erteilt, z. B. derselbe bei Drehung um die Querachse so geneigt, dass er von der vertikalen oder horizontalen Lage abweicht, so tritt gleichfalls eine Täuschung über die wirkliche Körperlage ein: hier sind es Eindrücke auf die Haut, die Spannung der Muskeln des Körpers, Kongestionen des Blutes nach dem Kopfe, endlich psychische Eindrücke, welche unsere Empfindung über die Orientierung des Körpers im Raume beeinflussen, wie Delage nachweist, und da alle diese Momente zur Erklärung unserer Empfindungen ausreichen, so können wir

methodisch die halbzirkelförmigen Kanäle nicht zur Erklärung herbeiziehen.

Von reinen Progressivbewegungen, gradlinigen Fortbewegungen unseres Körpers haben wir, wie auch unser Körper oder unser Kopf gegen den Körper gestellt sein mag, keine deutliche oder sichere, vielleicht überhaupt keine Empfindung: wir haben also dafür auch kein besonderes Organ und die halbzirkelförmigen Kanäle sind dieser Funktion enthoben.

Es bleiben also nur noch die Drehbewegungen übrig, für welche eine Orientierungsvorrichtung gefordert wird, deren Sitz im Kopfe sein muss, da Veränderungen der Kopfhaltung während der Drehbewegung zu Täuschungen über die Orientierung unseres Körpers führen. Diese Täuschungen sind aber von anderer Beschaffenheit, von anderer Grösse und von anderem Sinne bezüglich ihrer Richtung, als die Täuschungen bei der Ruhelage des Körpers: sie müssen also auch Funktionen eines anderen Organes, als des Augenbewegungsapparates sein. Von den Organen des Kopfes bleiben aber als peripherische vermittelnde Sinnesorgane nur die halbzirkelförmigen Kanäle übrig, da für das Gehirn eine derartige Sinnesfunktion nicht angenommen werden kann. Wenn nun die Bogengänge und das Vestibulum auf Grund ihrer anatomischen Anordnung auch ganz geeignet für eine derartige Funktion erscheinen, so bleibt für diese Annahme immer noch die Frage, auf welche Weise diese Organe erregt werden. Sind es Veränderungen in den Drücken der in dem Labyrinthe enthaltenen Flüssigkeiten, so ist die weitere Frage, auf welchem Wege die durch die veränderten Drücke hervorgerufenen Empfindungen auf die Bewegungsorgane einwirken, um die kompensatorischen Augen- und Körperbewegungen zu veranlassen, d. h. diejenigen Bewegungen, welche das Gleichgewicht des Körpers zu erhalten im stande sind.

Dieser streng logische Plan für die Analyse der Orientierungsempfindungen beherrscht die Darstellung der vielen einzelnen Versuche, welche teils von Delage selbst ersonnen, teils von anderen Beobachtern angestellt worden sind und hält unsern Autor innerhalb der Grenzen fest, welche durch die induktive, naturwissenschaftliche Forschung gezogen sind. Die vielfach

angefeindete absolute Herrschaft der halbcirkelförmigen Kanäle über die Orientierung und die Erhaltung des Gleichgewichts wird durch Delage in engere Grenzen gebannt und die Berechtigung der Augen- und Körpermuskulatur nebst dem Tastsinn an der Orientierung anerkannt und in ihre natürlichen Rechte eingesetzt.

Gerade diese durchsichtige und übersichtliche Darstellungsmethode in der Abhandlung von Delage war es, was mich zu dem Gedanken anregte, dieselbe ins Deutsche zu übersetzen, da ja die meisten Arbeiten auf diesem Gebiete von Deutschen geschrieben oder wenigstens ins Deutsche übersetzt worden sind. So sind die Hauptarbeiten von Flourens ins Deutsche übersetzt worden, die Arbeiten von E. von Cyon sind teils in deutscher Sprache publiziert, teils kürzlich in deutscher Ausgabe erschienen [1]), und die übrigen Forscher auf diesem Gebiete sind seit Purkinje Deutsche. Es bleiben also nur die nicht umfänglichen Aufsätze von Laborde und Crum Brown unübersetzt.

Ein Motiv, die Arbeit von Delage meinen Landsleuten zum genauen Studium zugänglicher zu machen, lag für mich auch darin, dass dieselbe in einem wesentlich zoologischen Archive [2]) publiziert worden ist, welches von Physiologen nicht besonders berücksichtigt zu werden pflegt, wenn es auch auf den meisten deutschen Universitätsbibliotheken vorhanden sein dürfte.

Selbst mit der Fortsetzung meiner Studien über Bewegungsempfindung beschäftigt, fühlte ich mich aber sogleich veranlasst, die Angaben Delage's einer eingehenden Prüfung zu unterziehen, fand dieselben, so weit ich sie geprüft habe, in allen wesentlichen Punkten bestätigt und wünschte daher, diese kleinen Beiträge zu veröffentlichen, da ich zur ausführlichen Publikation dieser noch lange nicht abgeschlossenen Untersuchungen erst nach Jahren kommen werde.

Zur Erleichterung des Verständnisses schien es mir wünschenswert, einige einfache Zeichnungen beizufügen, die ich zum Teil der Güte des Herrn Professor Delage verdanke.

1) Gesammelte physiologische Arbeiten von Dr. E. v. Cyon. Berlin 1888.

2) Achives de Zoologie expérimentale 1886. 2me ser. T. IV pag. 535.

Ich füge dieser Abhandlung die sehr selten gewordenen drei ersten Mitteilungen Purkinje's über Scheinbewegungen und über den Schwindel bei, deren Uebermittelung ich der Güte meines Herrn Kollegen R. Heidenhain in Breslau verdanke. Wenn sie auch nur eine kurze Zusammenfassung der Versuche Purkinje's enthalten, so zeigen sie doch besser als der Aufsatz in Rust's Magazin von 1827 den weiten Gesichtskreis des berühmten Physiologen, seine hervorragende Begabung für subjektive Beobachtungen und seine richtige Auffassung der vivisektorischen Versuche von Magendie und Flourens, sowie seiner eigenen Versuche an Tieren.

Versuche

über

die statischen und dynamischen Täuschungen

in der Richtung

zur Bestimmung der Funktion der halbzirkelförmigen Kanäle des inneren Ohres,

von

Yves Delage.

I. EINLEITUNG.

Als Flourens im Jahre 1824 seine berühmten, allbekannten Versuche über die halbzirkelförmigen Kanäle des inneren Ohres anstellte [1]), ahnte er nicht, zu welchen Schlussfolgerungen dieselben einst führen würden. Für ihn war die Gesamtheit der Kanäle das peripherische Organ, in welchem die lenkenden Kräfte für die Bewegungen ihren Sitz

1) Expériences sur le système nerveux. Paris 1825.

haben, während die koordinierenden Kräfte in dem Kleinhirn, die erregende Kraft im Grosshirn ihren Sitz hat. Aber niemals hatte er die Idee, dass sie ein wirkliches Sinnesorgan wären, welches uns Empfindungen oder bewusste Vorstellungen irgend welcher Art verschaffen könnte.

Seitdem sind diese Versuche oft wieder aufgenommen und mannigfach variiert worden, und die Physiologen haben, abgesehen von Abweichungen in Einzelheiten, im ganzen die von Flourens beobachteten Thatsachen bestätigt; aber indem sie sich über die Art und Weise ihres Zustandekommens Rechenschaft zu geben suchten, sind sie zu ganz verschiedenen Erklärungen gelangt.

Goltz [1]) nimmt an, dass jede Ampulle um so mehr durch Endolymphe ausgedehnt wird, je tiefer sie bei den Bewegungen des Kopfes nach unten gebracht wird; daraus entstehen Empfindungen, welche uns über die Orientierung unseres Kopfes in bezug auf seine Achsen belehren und welche, indem sie sich mit einander verbinden, das Gleichgewicht des Kopfes regeln und in weiterer Folge das des Körpers; der Apparat ist also das Organ für die Gleichgewichtsempfindungen.

Breuer [2]) fasst die Sachen ganz anders auf. Er denkt sich, dass bei den Bewegungen des Kopfes die Endolymphe infolge ihrer Trägheit die Bewegung nicht mitmacht (erste Theorie) und dass die Cilien der Ampullen, indem sie sich dagegen reiben, uns über die von unserem Kopfe ausgeführten Bewegungen unterrichten. Die halbzirkelförmigen Kanäle wären also (ausser der vorhergehenden Funktion) die Organe der Bewegungsempfindungen.

Mach [3]) kommt durch ein ganz davon verschiedenes Verfahren, durch die Analyse der Empfindungen, welche wir während der verschiedenen Bewegungen unsres Körpers haben, zu analogen, aber genauer bestimmten Schlüssen. Nach ihm kann die

1) Ueber die physiologische Bedeutung der Bogengänge des Ohrlabyrinthes (Pflügers Arch. Bd. III, 1870. S. 172—192).

2) Ueber die Funktion der Bogengänge des Ohrlabyrinthes (Wiener med. Jahrbücher 1874. S. 72—124).

3) Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen. Leipzig 1875.

Endolymphe in den Kanälen sich nicht bewegen, aber ihre Trägheit giebt sich durch einen dem Sinne der Bewegung entgegengesetzt wirkenden Druck kund. Er schliesst aus seinen Versuchen: 1. man nimmt nicht die Winkel- oder Lineargeschwindigkeiten wahr, sondern nur die Beschleunigungen; 2. die wahrgenommenen Empfindungen sind weder Tast-, noch Muskelempfindungen, sondern spezifische durch ein besonderes Sinnesorgan vermittelte Empfindungen; 3. dieses Organ hat seinen Sitz im Kopfe und ist wahrscheinlich kein anderes, als der Apparat der halbzirkelförmigen Kanäle: diese können als Organ der Beschleunigungsempfindungen definiert werden.

von Cyon[1]), welcher zu den Methoden der Vivisektion zurückkehrt, schliesst aus seinen Versuchen, dass die halbzirkelförmigen Kanäle uns weder über die Orientierung unseres Kopfes, noch über die Bewegungen, welche er vollzieht, unterrichten, sondern dass sie uns unbewusste Empfindungen zukommen lassen, welche dazu dienen, unsere Vorstellung vom Raume nach 3 Dimensionen zu bilden: sie sind das periphierische Organ unserer Vorstellungen vom Raume.

Endlich glaubt Laborde[2]) nachgewiesen zu haben, dass dieses Organ ein empfindender und bewegender Apparat ist, verbunden mit dem Gehörsinne und dazu bestimmt, die Bewegungen des Kopfes und Körpers, welche der Schalleindruck hervorruft, ausführen zu lassen.

Ich muss zu diesem Verzeichnis eine fünfte Meinung hinzufügen, welche, ohne meines Wissens wissenschaftlich gestützt zu sein, nichtsdestoweniger sich geltend zu machen sucht. Die erstaunliche Fähigkeit der Orientierung, welche verschiedene Tiere, der Hund, das Pferd, besonders die Brieftauben und selbst

---

1) Recherches expérimentales sur les fonctions des canaux semi-circulairs et sur leur rôle dans la formation de la notion de l'espace. Paris 1878. (Deutsch in E. von Cyon, Gesammelte physiologische Arbeiten 1888. S. 269).

2) Essai d'une détermination expérimentale et morphologique du rôle fonctionnel des canaux semi-circulaires. (Bulletin de la Societé d'anthropologie 1. décembre 1881).

gewisse Menschen besitzen, nach langen Reisen auf unbekannten Wegen wieder nach dem Ausgangspunkte zurückzukommen, ist auf Rechnung der halbzirkelförmigen Kanäle gesetzt worden, welche den Tieren gestatten sollen, auf tausend Umwegen die Empfindung der Richtung, in welcher sich der Ausgangspunkt befindet festzuhalten [1]). Nach dieser Theorie würde das in Rede stehende Organ der Sinn für die Orientierung und die Richtungen im Raume sein.

Ich beanspruche nicht, hier eine vollständige Analyse der verschiedenen Meinungen zu geben, welche über die Rolle der Kanäle aufgestellt worden sind. Ich habe nur die Hauptmeinungen, von denen alle die andern als Varianten oder Ableitungen erscheinen, andeuten wollen; und um den gegenwärtigen Stand der Meinungen über diese Frage zu charakterisieren, füge ich hinzu, dass die Theorien von Breuer, Mach und von Cyon die bei den Physiologen am besten angeschriebenen sind. Kurz man ist heutzutage geneigt, die Existenz eines sechsten Spezialsinnes zuzugeben, welcher uns sowohl über den Raum an sich unterrichtet und uns gestattet, ihn mit seinen drei Dimensionen aufzufassen, als in bezug auf unsere Orientierung im Raume, als in bezug auf die Bewegungen, welche wir in ihm ausführen, unterrichtet.

Um unterscheiden zu können, was an diesen verschiedenen Theorieen wahr wäre, habe ich alle die statischen und dynamischen [2]) Empfindungen analisiert, welche der angebliche Raumsinn uns liefern soll, und bin dabei zu der Erkenntnis gelangt dass man ihm manches zugeschrieben hat, was ihm nicht zugehört.

Das Untersuchungsverfahren, welches ich befolgt habe, gleicht dem von Mach und man könnte glauben, ich hätte nur das, was Mach für den in Bewegung befindlichen Körper untersucht hat, auf die statischen Empfindungen ausgedehnt. — Das ist nur scheinbar der Fall.

Der deutsche Autor hat hauptsächlich die normalen Empfindungen studiert — ich dagegen habe mich befleissigt, die

1) Voir le Cerveau, organe de la pensée, par Ch. Bastian. Paris 1882. (vol. XI de la Bibliothèque scientifique internationale p. 65—70).

2) Die nähere Definition dieser Empfindungen s. pag. 7 und 16.

Täuschungen festzustellen, zu welchen die verschiedenen Versuchsbedingungen Anlass geben können, um wo möglich den Sitz der wahrgenommenen Empfindungen sicher zu bestimmen. — Dies bedarf einer Erklärung:

Wir wissen, dass unsere Sinne uns nicht von allen Einzelheiten die Vorstellungen liefern, welche wir aus ihren Angaben gewinnen. Diese Vorstellungen sind vielmehr das Produkt eines unbewussten, intellektuellen Vorganges, vermöge dessen wir die oberflächlichen Angaben des Organes mit Hilfe früher gewonnener Erfahrungen auslegen. Weil nun unsre Vorstellungen durch die anderen Sinne oft bestärkt und berichtigt worden sind, und zwar besonders durch den Tastsinn, so liefern unsre Empfindungseindrücke uns die umfänglichen Angaben, welche wir daraus zu schöpfen verstehen.

Der Gesichtssinn zum Beispiel giebt uns nichts weiter an, als die Farbe der Gegenstände, ihre Winkelgrösse, ihre Lage in der Projektion auf eine der Pupille parallele Fläche. Alle übrigen Angaben, welche er uns zu liefern scheint, sind in Wirklichkeit das Resultat einer Art intellektuellen Reflexes, vermöge dessen wir den gesehenen Gegenständen diejenigen Eigenschaften zuschreiben, welche wir an ihnen mittelst des Tastsinnes oder der anderen Sinne jedesmal erkannt haben, wenn ähnliche Gesichtseindrücke durch sie haben vervollständigt werden können. So halten wir ein Stück roten Eisens für heiss, einen Baum in der Ferne für grösser als einen nahe bei uns befindlichen Menschen u. s. w. Jeder Sinn erhält so von den anderen Sinnen und besonders vom Tastsinne eine besondere Erziehung, welche die Beschaffenheit und die Tragweite seiner Angaben beträchtlich erweitert und oft berichtigt.

Diese Berichtigungen werden schliesslich so unlösbar mit dem normalen Gebrauch unserer Sinne verbunden, dass sie sich selbst dann entwickeln, wenn sie fehlerhaft werden und darin liegt der Ursprung fast aller Sinnestäuschungen.

Wir sind zum Beispiel so daran gewöhnt, die auf die Netzhaut gemachten Eindrücke auf die entgegengesetzte Seite zu übertragen, dass wir die Lücke des blinden Fleckes nach aussen vom gelben Fleck sehen, während sie doch nach innen davon

liegt; und dass wir, indem wir mit einer stumpfen Spitze auf die Netzhaut durch die Augenlider von der Schläfenseite her drücken, ein Phosphen auf der Nasenseite erscheinen sehen. Selbst der Tastsinn ist nicht frei von Irrtümern dieser Art, wie der Versuch mit der als doppelt empfundenen Kugel beweist, wenn man dieselbe zwischen den Enden des verschränkten Zeige- und Mittelfingers hält.

Das Studium der Sinnestäuschungen kann unter gewissen Umständen grosse Dienste leisten, um die Art und Weise zu bestimmen, in welcher unsere Sinne die Eindrücke aufnehmen. So könnte die oben erwähnte Gesichtstäuschung für sich allein dazu dienen, die Kreuzung der Lichtstrahlen im Auge nachzuweisen und selbst bis zu einem gewissen Grade den Ort der Kreuzung zu bestimmen.

Gerade durch diese Ueberlegungen bin ich darauf hingeführt worden zu forschen, ob die dem Raumsinne*) zugeschriebenen Empfindungen nicht Anlass zu gewissen Täuschungen geben könnten, welche uns zur Bestimmung desjenigen Organs zu dienen geeignet wären, welches uns dieselben verschafft.

Wenn wirklich diese Empfindungen ihren Sitz im Kopfe und speziell in den halbzirkelförmigen Kanälen haben, so muss

*) Den »sens de l'espace« definiert Delage später (S. 21) als »sens de l'orientation et de la direction«, versteht also darunter etwas ganz anderes, als Weber (Handwörterbuch der Physiologie Bd. III, 2. S. 254) mit dem Ausdrucke »Ortssinn« bezeichnete. Was Hering (Beiträge zur Physiologie Heft I, 1861) unter Ortssinn versteht, deckt sich ziemlich mit der Bedeutung, welche unser Autor dem sens de l'espace beilegt, nämlich Wahrnehmung des Raumes in allen seinen Dimensionen. Wir gebrauchen promiscue die Ausdrücke Ortssinn und Raumsinn — da aber der Raumsinn die reine, aprioristische Vorstellung des Raumes (cf. Kant, Kritik der reinen Vernunft 1828 S. 28) zur Voraussetzung hat, so scheint es mir geboten, für die synthetische Raumwahrnehmung, zu welcher uns die Sinnesthätigkeit befähigt, den Ausdruck Raumsinn zu gebrauchen. Wenn wir uns im alltäglichen Leben damit begnügen, die Lage eines Ortes im Raume zu bestimmen, um demgemäss unsere Bewegungen einzurichten, so bedürfen wir vom physiologischen Standpunkte aus notwendig die Voraussetzung des allgemeinen Raumes, in welchen wir unsere Sinnesempfindungen pojizieren. — Abgesehen von dieser Auffassung vernotwendigte die Uebersetzung, das Wort »l'espace« immer mit »Raum« wiederzugeben, daher auch »sens de l'espace« mit »Raumsinn«.

eine abnorme Stellung des Kopfes gewisse Täuschungen veranlassen, denn auf das im Kopfe gelegene Organ wird der Eindruck in derselben Art gemacht, als wenn der ganze Körper seine in Beziehung zum Kopfe gewohnte Stellung einnähme. Gelangt man im Gegenteil dazu, Täuschungen hervorzubringen, ohne irgendwie die Funktion der halbzirkelförmigen Kanäle zu verändern, so müssen diese als unbeteiligt bei den Empfindungen gleicher Ordnung angesehen werden.

Wir werden sehen, in wie weit diese Voraussetzungen bestätigt werden.

Um die Thatsachen, welche man gelten lassen muss, scharf zu unterscheiden von den immerhin streitigen Theorieen zur Erklärung derselben habe ich zuerst klar und einfach die beobachteten Empfindungen und Täuschungen beschrieben, dann habe ich in einem besonderen Kapitel deren Ursache in der Einrichtung unseres Organismus und in der Erziehungsweise unserer Sinne nachzuweisen gesucht.

Aus der von uns gegebenen Aufzählung der dem Raumsinne zugeschriebenen Funktionen ersieht man, dass die halbzirkelförmigen Kanäle uns zweierlei Arten von Vorstellungen liefern sollen: die eine entsteht im Zustande der Ruhe und belehrt uns über die Orientierung unseres Körpers in bezug auf die zum Vergleiche dienenden Ebenen: ich werde sie statische Empfindungen nennen; die andere entwickelt sich, wenn unser Körper in Bewegung ist, sie belehrt uns über das Vorhandensein und die Beschaffenheit dieser Bewegung: ich werde sie dynamische Empfindungen nennen.

Mit dem Studium der ersteren müssen wir beginnen, um nicht Gefahr zu laufen, in Irrtümer zu verfallen, wenn wir später die dynamischen Täuschungen analysieren wollen. Denn es ist wichtig scharf zu unterscheiden zwischen den wirklich dynamischen Täuschungen, d. h. denjenigen, welche durch die Bewegung hervorgerufen werden und den statischen Täuschungen, welche während der Bewegung würden auftreten können, ohne von derselben bewirkt worden zu sein. Bevor wir z. B. untersuchen, ob eine Fortbewegung von vorn nach hinten oder eine Drehung in symmetrischer Ebene noch als solche wahrgenommen

werden, wenn der Kopf eine abnorme Stellung angenommen hat ist es wichtig darüber sicher zu sein, dass diese abnorme Stellung uns nicht eine falsche Vorstellung über die Richtung von vorn nach hinten oder über die Lage der symmetrischen Ebene bei Abwesenheit jeglicher Bewegung gibt. Das ist aber gerade der Fall.

Wir beginnen also damit, sorgfältig die statischen Täuschungen zu bestimmen, welche durch abnorme Kopfstellungen hervorgebracht werden.

II. Statische Empfindungen und Täuschungen bezüglich der Richtungen im Raume.

Die Versuchsperson stellt sich an eine bestimmt, z. B. westöstlich gerichtete Wand, der Körper grade gestreckt, Hacken, Rücken und Hinterkopf an der Wand gestützt und blickt vor sich hin gegen Norden auf ein Objekt A, welches ihr als Merkzeichen dient.

Verbindet man ihr die Augen, so bewahrt sie eine genaue Vorstellung von den Richtungen. Gibt man ihr einen langen Stab in die Hände und heisst sie denselben nach A richten, so thut sie es ohne merklichen Fehler [1]). Sie kann ebenso den Stab vertikal oder horizontal in der medianen Ebene [2]) halten, oder horizontal in einer der frontalen Ebene parallelen Richtung.

---

1) In allen diesen Versuchen muss der Stab symmetrisch in beiden Händen gehalten werden, um die rein mechanischen Fehler zu vermeiden, welche eine unsymmetrische Stellung hervorrufen könnte.

2) Wir bemerken ein für alle mal, dass wir die Stellungen und die Bewegungen auf die drei in der Anatomie als sagittal, koronal und transversal bezeichneten Ebenen beziehen. Die sagittale Ebene ist diejenige, welche durch die Wirbelsäule und den Nabel geht; es ist die symmetrische Ebene des Körpers, welche ihn in zwei Hälften, die rechte und die linke teilt; in der aufrechten Stellung ist sie vertikal und geht von vorn nach hinten. Die koronale Ebene ist diejenige, welche durch die beiden Schulter- und die beiden Hüftgelenke geht, sie ist lothrecht zur vorigen Ebene und schneidet sie im Verlaufe einer Linie, welche die »Körperaxe« ist; sie teilt den Körper in zwei Hälften, die vordere und die hintere; in der Normalstellung ist sie senkrecht und nach beiden Seiten gerichtet. Endlich nennt man transversale Ebenen alle diejenigen, welche lothrecht zu den

Lässt man die Versuchsperson sich nach A hin bewegen, so thut sie dies ganz richtig und gelangt trotz des Stockens, welches eine instinktive Furcht ihrem Gange mitteilt, nahezu am Ziele an.

Im Allgemeinen wird in diesen Versuchen ein kleiner Fehler gemacht, aber er beträgt kaum 3^0 bis 4^0 bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne.

Manche Personen machen einen konstanten Fehler, welcher grösser sein kann und immer in ein und demselben Sinne gemacht wird: das ist der persönliche Fehler. Er ist bei verschiedenen Personen dem Sinne nach verschieden und summiert sich algebraisch zu den sogleich zu besprechenden Fehlern — bringt also keine Verwirrung in die Erscheinungen.

a. Täuschungen bei Drehung des Kopfes um die vertikale Axe.

Wir bringen die Versuchsperson wieder in dieselbe Stellung, nehmen ihr die Binde ab, um sie sich wiederum orientieren und Kenntnis von dem Merkzeichen nehmen zu lassen, verbinden ihr die Augen wieder und heissen sie den Kopf stark nach rechts um die vertikale Axe drehen. Geben wir ihr den Stab wieder und sagen ihr, sie solle denselben nach A richten, welches, wie wir wissen, nach Norden hin liegt, so wird sie ihn konstant 15^0 weiter nach Osten richten, d. h. 15^0 von der Richtung abweichend, welche sie ihm zu geben glaubt und zwar in entgegengesetztem Sinne ihrer Kopfwendung. — Wird der Kopf nach links gewendet, so entsteht derselbe Fehler im umgekehrten Sinne.

Berichtigt man die Lage ihres Stabes, indem man ihn nach

---

beiden anderen und folglich lothrecht zur Körperaxe sind. In der Normalstellung sind sie horizontal*).

---

*) Die entsprechenden Bezeichnungen der deutschen Anatomen, welche von Henle (Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen 1855 I, 1. S. 1) formuliert worden sind, und welche ich durchgehends angewendet habe, würden sein: für »sagittale Ebene« Medianebene, für »koronale Ebene« Frontalebene; transversale Ebene ist beibehalten. Ferner ist von den horizontalen Axen die axe antéro-posterieur die sagittale, die transversale die Queraxe, in der frontalen Ebene gelegene.

dem wirklichen Norden richtet, so erhebt sie Widerspruch und glaubt, dass man sie 15° westlich von Norden hin zielen lässt, wenn sie das Zeichen zur rechten, 15° östlich von Norden, wenn sie das Zeichen zur Linken hat.

Nimmt man ihr einen Augenblick die Binde ab, um sie Kenntnis von dem Punkte A nehmen zu lassen, und heisst sie dann sich nach diesem Merkzeichen hin bewegen, so schlägt sie konstant einen falschen Weg ein, indem sie nach rechts abweicht, wenn das Zeichen nach links hin und nach links, wenn es nach rechts hin liegt, folglich nach der Seite, nach welcher sie ihren Stab gerichtet haben würde, um, ihrer Meinung nach, den Punkt A zu treffen.

Führt man sie am Arme in gerader Linie nach A, so glaubt sie, man wolle sie täuschen und dirigiere sie schräg nach rechts, wenn ihr Kopf nach rechts gewendet ist, nach links bei entgegengesetzter Kopfstellung.

Wir bemerken ein für allemal, dass alle diese Versuche vielmals wiederholt worden sind, anfangs vom Verfasser, später von verschiedenen Personen, zu welchen vorzugsweise Handwerker, welche, wie z. B. Zimmerleute, Uebung darin haben, Winkel und Richtungen mit dem Auge zu schätzen, gewählt wurden. Wir fügen hinzu, dass diese Personen nicht davon unterrichtet waren, um was es sich handelte und dass sie, nachdem ihr Irrtum festgestellt war, den Fehler ihrer Ungeschicktheit zuschrieben und es als einen Ehrenpunkt ansahen, sich nicht zu irren.

Wenn die Versuchsperson eine natürliche Tendenz hat nach einer gewissen Seite abzuweichen, so summiert sich, wie gesagt, diese Abweichung algebraisch zu derjenigen, welche die abnorme Stellung des Kopfes bedingt. Wenn sie z. B. bei grader Kopfhaltung von dem Punkte A um einige Grade nach links abweicht, so werden die Abweichungen nach rechts vermindert sein, aber die nach links werden um eben denselben Wert grösser sein.

Die durch die abnorme Kopfstellung hervorgerufene Abweichung gilt übrigens nicht allein für die horizontale sagittale Richtung; sie entsteht bei allen Winkeln mit der Sagittalen in

gleicher Grösse. Wenn man z. B. die Versuchsperson auffordert, das Lineal quer in westöstlicher Richtung zu halten, so wird dasjenige Ende, welches der Seite nach dem Zeichen hin am nächsten ist, nach Norden abgelenkt. Der Irrtum ist also gleichsinnig dem der vorhergehenden Versuche.

Wenn die Versuchsperson, statt den Stab horizontal zu halten, das eine Ende erhebt und allmählich der senkrechten nähert, so nimmt die Abweichung, ohne sich in ihrem Sinne zu ändern, allmählich ab, und ist das Lineal vertikal geworden, so ist der Irrtum gleich Null. Die Versuchsperson kann ihr Lineal so genau senkrecht halten, als wenn es dasselbe vor sich sähe.

Man kann diese Thatsachen in eine einfache Formel zusammenfassen und sagen:

1) Bleibende Drehung des Kopfes um seine vertikale Axe nach rechts oder nach links bewirkt eine Täuschung der Art, dass man die Richtungen so schätzt, als ob der äussere Rand sich etwa 15 Grade um dieselbe Axe wie der Kopf, aber in entgegengesetztem Sinne gedreht hätte.

Die eben beschriebenen Täuschungen betreffen eine Versuchsperson, welche nicht voreingenommen ist oder die Eindrücke obenhin beobachtet. Bei einer gewissen Aufmerksamkeit und nach Gewöhnung an diese Art von Versuchen kommt man dazu, ganz entgegengesetzte Eindrücke zu erhalten. Wenn der Kopf seine Drehung ausgeführt hat und man sich dann Rechenschaft über die Orientierung seines Körpers zu geben sucht, so glaubt man zu fühlen, dass dieser sich um etwa 15 Grade in demselben Sinne wie der Kopf gedreht hat. Die Brust, welche nach Norden gerichtet ist, scheint 15 Grad westlich von Norden gerichtet zu sein, wenn der Kopf nach Westen gedreht ist und 15^0 östlich von Norden, wenn das Zeichen nach Westen hin sich befindet.

Man kann diese Täuschung objektiv feststellen, indem man den Stab rechtwinklig gegen die Brust zu richten sucht. Trotz aller Aufmerksamkeit weicht man ungefähr 15 Grade in demselben Sinne wie der Kopf ab. Aber wenn man dann das Merkzeichen A zu treffen sucht, so gelangt man ohne merklichen Fehler an dasselbe.

Diese beiden Täuschungen schliessen einander aus: wenn man derjenigen der Drehung des Körpers unterliegt, so bleibt man von denjenigen frei, welche sich auf den äusseren Raum beziehen; unterliegt man ihr nicht, so ist man der letzteren unterworfen. Bei einer nicht voreingenommenen Versuchsperson entsteht immer die letztere Täuschung; es gehört eine gewisse Uebung und eine grosse Aufmerksamkeit dazu, um die zweiten an ihre Stelle treten zu lassen.

In diesem Falle lautet die Formel für die Täuschungen folgendermassen:

2) Bleibende Drehung des Kopfes um seine senkrechte Axe bewirkt eine Täuschung der Art, dass man die Richtungen so schätzt, als ob der Körper sich in demselben Sinne wie der Kopf etwa 15^0 um seine senkrechte Axe gedreht hätte.

Uebrigens sind im Grunde diese beiden Formeln gleichbedeutend und man kann sie zu einer dritten allgemeineren zusammenfassen:

3) Bleibende Drehung des Kopfes um seine senkrechte Axe nach rechts oder links bewirkt eine Täuschung der Art, dass man die Richtungen so schätzt, als ob eine relative Bewegung des Körpers in bezug auf den äusseren Raum von etwa 15^0 um die senkrechte Axe des ersteren vor sich gegangen wäre; diese Bewegung kann entweder dem Körper, in gleichem Sinne mit dem Kopfe, oder dem äusseren Raume in entgegengesetztem Sinne zugeschrieben werden.

b. Täuschungen bei Beugung des Kopfes um seine Queraxe.

Die detaillierten Auseinandersetzungen des vorhergehenden Kapitels gestatten uns bei den folgenden Beschreibungen kurz zu sein.

Die Versuchsperson in der Normalstellung mit verbundenen Augen kann, wie gesagt, den Stab wagerecht oder senkrecht in der Medianebene halten oder das Ziel A ohne merklichen Fehler treffen. — Sobald sie aber den Kopf nach vorn um die Queraxe dreht, d. h. also gegen die Brust beugt, so irrt sie sich: will sie den Stab senkrecht halten, so neigt sie ihn nach hinten derart, dass er mit der Senkrechten einen nach hinten und oben

offenen Winkel von etwa 15^0 bildet. Will sie ihn wagerecht halten, indem sie nach A hinzielt, so irrt sie sich wieder um etwa 15^0, aber statt, wie in den vorgehenden Fällen (bei Seitenwendung des Kopfes) zur Seite abzuweichen, so zielt sie zu hoch, ohne indes die Medianebene zu verlassen.

In allen Richtungen dieser Ebene bleibt der Irrtum derselbe, aber wenn sie sich daraus entfernt, so nimmt er ab und wird endlich gleich Null, wenn sie in der frontalen Ebene angekommen ist. Das heisst, sie kann ihren Stab ohne erheblichen Fehler horizontal halten, sowohl vor sich parallel der Brust, als auch am Ende des Armes in der frontalen Ebene.

Ist der Kopf nach hinten zurückgebeugt durch Drehung um dieselbe Queraxe, so entstehen eben dieselben Täuschungen, aber in umgekehrtem Sinne. — Man kann also sagen:

4) Bleibende Beugung des Kopfes nach vorn oder nach hinten um seine Queraxe bewirkt eine Täuschung derart, dass man die Richtungen so schätzt, als ob der äussere Raum sich um dieselbe Axe wie der Kopf in entgegengesetztem Sinne um etwa 15^0 gedreht hätte.

Kann diese Täuschung vom äusseren Raume auf den eigenen Körper der Versuchsperson übertragen werden wie bei der Drehung um die senkrechte Axe? Dem Anscheine nach nicht. Man kann immerhin den Kopf nach vorn oder nach hinten beugen, der Körper scheint immer senkrecht zu bleiben. Aber dies rührt von einer Gleichgewichtsempfindung her, welche die Täuschung nicht zur Erscheinung kommen lässt: indem der Druck auf allen Punkten der Fusssohlen unverändert bleibt und der Körper sich weder zum Fallen nach vorn noch nach hinten getrieben fühlt, kann die Täuschung einer schiefen Stellung nicht zu stande kommen. — Aber man kann sie mittelst eines Kunstgriffes zur Erscheinung bringen: es genügt dazu sich an einem horizontalen hölzernen Barren an den Händen aufzuhängen. Ist dann der Kopf grade, so scheint auch der Körper senkrecht zu sein — ist der Kopf nach vorn gebeugt, so scheint der Körper schräg nach vorn, ist er nach hinten zurückgebeugt, so scheint der Körper schräg nach hinten abzuweichen, als ob er bis zu einem gewissen Grade der Bewegung des Kopfes ge-

folgt wäre. Verkürzt man die Arme, so wird die Täuschung deutlicher — kurz:

5) Beugung des Kopfes um seine Queraxe bewirkt eine Täuschung derart, dass man die Richtungen so schätzt, als wenn der Körper sich etwa 15° um dieselbe Axe wie der Kopf in gleichem Sinne gedreht hätte. — Aber um diese Täuschung entstehen zu lassen, ist es notwendig diejenigen Gleichgewichtsempfindungen, welche sich seiner Entstehung entgegenstellen, zu unterdrücken.

Man kann, wie vorher, diese beiden gleichwertigen Formeln zu einer einzigen verschmelzen und sagen:

6) Bleibende Beugung des Kopfes nach vorn oder hinten um seine Queraxe bewirkt eine Täuschung der Art, dass man über die Richtungen dieselben Urteile fällt, als wenn eine Bewegung des Körpers, im Sinne einer Drehung in bezug auf den äusseren Raum von etwa 15° um dieselbe Axe, um welche der Kopf gebeugt worden ist, stattgefunden hätte; eine Bewegung, welche entweder dem Körper in gleichem Sinne mit dem Kopfe oder dem äusseren Raume in entgegengesetztem Sinne zugeschrieben werden kann.

c. Täuschungen bei Neigung des Kopfes um seine sagittale Axe.

Wenn der Kopf sich um seine sagittale Axe dreht der Art, dass er sich nach der einen oder anderen Schulter neigt, so sind die Täuschungen mutatis mutandis dieselben, wie in den vorhergehenden Fällen. Es wäre überflüssig in die Einzelnheiten der Versuche zum Verständnis ihres Verlaufes einzugehen.

Wenn der Kopf nach der rechten Schulter zum Beispiel geneigt ist, so sind alle von der Versuchsperson angegebenen Richtungen in der frontalen oder den ihr parallelen Ebenen falsch und weichen von der wahren Richtung etwa 15° in umgekehrtem Sinne wie der Kopf ab. Wenn man die Versuchsperson auffordert, den Stab horizontal und parallel zu ihrer Brust zu halten, so hält sie konstant das linke Ende zu tief. Für die senkrechte Richtung neigt sich das obere Ende nach links.

Je mehr man von der Frontalebene abweicht, umsomehr nehmen die Fehler ab und werden gleich Null für die Angaben

über die zu dieser Ebene senkrechten Richtungen. — Man kann also sagen:

7) Bleibende Neigung des Kopfes nach der einen oder anderen Schulter um seine sagittale Axe bewirkt eine Täuschung der Art, dass man die Richtungen so schätzt, als wenn der äussere Raum sich um ebendieselbe Axe wie der Kopf etwa 15⁰ aber in entgegengesetztem Sinne gedreht hätte [1].

Aus den oben angeführten Gründen können die Täuschungen von der Versuchsperson nicht auf ihren eigenen Körper bezogen werden ausser mittelst eines Kunstgriffes. Hängt man sich mit den Händen an eine horizontale Stange und zieht zweckmässigerweise die Arme an, so hält man, wenn man den Kopf nach der einen Schulter neigt, seinen Körper für schief, als ob er um etwa 15⁰ dieselbe Bewegung mitgemacht hätte. Diese Täuschung ist sogar leichter wahrzunehmen, als die bei der Beugung des Kopfes nach vorn oder hinten. Also:

8) Die Neigung des Kopfes schulterwärts bewirkt eine Täuschung der Art, dass man die Richtungen schätzt als wenn der Körper sich etwa 15⁰ um dieselbe Axe wie der Kopf und in demselben Sinne gedreht hätte. — Aber man muss zur Erlangung dieser Täuschung diejenigen Gleichgewichtsempfindungen, welche ihrer Hervorbringung entgegenstehen, eliminieren.

Endlich kann man auch hier diese beiden gleichwertigen Sätze zu einem anderen allgemeineren vereinigen:

9) Andauernde Neigung des Kopfes schulterwärts um die sagittale Axe bewirkt eine Täuschung der Art, dass man die Richtungen so schätzt, als wenn eine Drehbewegung des Körpers in Beziehung auf den äusseren Raum um ungefähr 15⁰ um dieselbe Axe wie beim Kopfe stattgefunden hätte; diese Bewegung kann entweder dem Körper in gleichem Sinne mit dem Kopfe,

1) Es ist von Wichtigkeit, diese Täuschungen nicht mit denjenigen zu verwechseln, welche von Aubert (Archiv für pathol. Anat. 1860, Bd. XX, p. 381) Skrebitzky (Ein Beitrag zur Lehre von den Augenbewegungen, Archiv für Ophthalmologie 1871, XVII, p. 107), Mulder (Ueber parallele Rollbewegungen der Augen ibid. 1875, XXI, p. 68) u. A. beschrieben worden sind. Diese letzteren sind Gesichtstäuschungen und nicht Täuschungen der Richtungsempfindung. Wir kommen später darauf zurück.

oder dem äusseren Raume in entgegengesetztem Sinne zugeschrieben werden.

Alle diese Sätze gelten nicht nur für die aufrechte Stellung des Körpers, sondern auch für die horizontale und für die schrägen Stellungen, für alle die verschiedenen Verhältnisse des Liegens, Sitzens, Knieens u. s. w. Sie gelten auch für die komplizierten Kopfstellungen infolge von Drehung um die dazwischenliegenden Axen unter der Bedingung, dass man die Formeln in entsprechender Weise umgestaltet.

Man kann sie also alle in eine allgemeinere Formel zusammenfassen und so ausdrücken:

10) Wenn der Körper aufrecht steht und der Kopf seine normale Stellung hat, so kann man bei verbundenen Augen ohne erheblichen Fehler alle Richtungen des Raumes angeben. Aber wenn der Kopf seine Stellung zum Rumpfe (Körper) verändert, so bewirkt diese neue Stellung, unabhängig von der ursprünglichen Körperstellung, konstante Täuschungen der Art, dass die Versuchsperson über die Richtungen dieselben Urteile fällt, als ob ihr Körper und der äussere Raum in Beziehung aufeinander eine Drehbewegung von etwa 15° um dieselbe Axe wie der Kopf ausgeführt hätten; die Bewegung kann entweder dem Körper gleichsinnig mit dem Kopfe oder dem äusseren Raume in entgegengesetztem Sinne[1]*) zugeschrieben werden. Die durch diese Täuschungen bewirkten Fehler sind unabhängig von dem manchen Individuen anhaftenden persönlichen Fehler, sowie von demjenigen Fehler, welchen die Neigung des Körpers bewirkt und sich algebraisch mit ihnen summiert**).

III. Sitz der Richtungsempfindungen und Ursache der statischen Täuschungen über die Richtung im Raume.

Die Thatsache, dass die Veränderungen der Kopfstellung Täuschungen in uns über die Richtungen im Raume hervorrufen,

1) Die Versuchsperson hat nicht die Empfindung einer stattfindenden Bewegung, sondern sie schätzt die Richtungen so, als wenn sie wüsste, dass diese Bewegung stattgefunden hat und sie ihre Rechnung tragen wollte.

*) Die vorstehenden Versuche sind auch von mir sämtlich wiederholt worden mit den von Delage angegebenen Resultaten. Der persönliche Fehler scheint

zeigt, dass das Organ der normalen korrespondierenden Empfindungen sich im Kopfe befindet. Es ist natürlich, zunächst in dem häutigen Labyrinthe die Ursache der beobachteten Empfindungen zu suchen, weil in diesem Organe der angebliche »Raumsinn«, der Sinn für die Orientierung und die Richtung seinen Sitz hat.

Von dem uns beschäftigenden Gesichtspunkte aus können die halbzirkelförmigen Kanäle und der Utriculus trotz ihrer komplizierten Form auf eine häutige kugelförmige Blase zurückgeführt werden. Die röhrenförmigen, korbhenkelartigen Verlängerungen sind Vervollkommnungen der Form, welche unzweifelhaft gewisse Empfindungen zarter und genauer wiedergeben, ohne indess ihre Natur zu verändern. Ich führe als Beweis die Myxine an, welche nur einen einzigen halbzirkelförmigen Kanal und doch offenbar Empfindungen für alle Richtungen hat. Ich führe ferner die Wirbellosen an, bei denen ich nachgewiesen habe [1], dass die Otocysten, einfache Blasen ohne Fortsätze, dieselben Funktionen ausüben, wie das ganze Labyrinth der Wirbeltiere. In denjenigen Fällen, in welchen die besondere Form dieses Labyrinthes einen Einfluss haben kann, werden wir Sorge tragen, darauf Rücksicht zu nehmen, aber in der Mehrzahl der Fälle kann das schematische Ohr an die Stelle des wirklichen Ohres gesetzt und dadurch die Betrachtungen abgekürzt werden. Ausserdem können diejenigen, welche an der Rechtmässigkeit dieser Annahme zweifeln sollten, die Betrachtungen noch einmal machen unter Anpassung derselben an das wirkliche Ohr.

Da die Endolymphe und die Perilymphe dieselbe Dichtigkeit haben, so kann das Gewicht der ersteren (entgegen der Meinung von Goltz, welche schon Breuer widerlegt hat) sich an keinem Punkte durch eine Zerrung oder eine Ausdehnung der Blase fühlbar machen, wie es der Fall sein würde, wenn sie

1) Comptes rendus Acad. sc., séance du 2. novembre 1886. (Tome CIII pag. 798. Ferner: Sur une Fonction nouvelle des otocystes etc. in den Arch. de Zool. exp. et gén. 2. serie T.V. 1887. — Cf. Engelmann, Ueber die Funktion der Otolithen im Zoologischen Anzeiger 1887 Nr. 258.)

bei mir gleich Null zu sein, da die für Drehungen nach entgegengesetzten Richtungen erhaltenen Zahlen keine konstante Abweichung in einem Sinne ergeben.

in Luft hinge. Die inneren Drücke werden überall durch die gleich grossen äusseren Drücke aufgewogen und der schliessliche Effekt ist eine Compression der Wand. Aber diese einander entgegenwirkenden Drücke sind offenbar nicht die nämlichen auf verschiedenen Schichten: den höheren Lagen entsprechen minimale Drücke und den abschüssigen Lagen maximale Drücke. Man könnte also mit voller Strenge annehmen, dass wir in den Ampullen eine graduierte Empfindung haben, welche uns die senkrechte Richtung und infolge dessen alle übrigen Richtungen im Raume angibt, wenn unsere Augen geschlossen sind.

Sobald wir den Kopf beugen oder neigen, verändern sich diese Kompressionen (der Wand); jeder Kopfstellung entspricht eine besondere Gruppe von Empfindungen und diese könnte erklären, warum wir bei diesen Stellungen nicht die senkrechte Axe des Raumes mit der morphologischen senkrechten Axe des Kopfes verwechseln.

Wir machen, wie man sieht, den Anhängern des Sinnes »für die Orientierung« ein grosses Zugeständnis, indem wir zugeben, dass die sehr kleinen Unterschiede der einfachen Kompression empfunden werden können. Die Otocysten mitwirken zu lassen, würde kaum die Schwierigkeiten vermindern. Aber ich glaube nicht dass man auf andere Weise durch die Empfindungen des inneren Ohres die Fähigkeit erklären kann, bei geschlossenen Augen die lineare Richtung zu erkennen.

Aber die Angaben des vermeintlichen »Sinnes für die Orientierung« erklären keineswegs die konstanten Fehler von ungefähr 15° bei der Neigung oder Beugung des Kopfes um seine horizontalen Axen.

Gelangte man dazu, diese Täuschungen zu erklären, so bliebe noch übrig Rechenschaft über diejenigen Täuschungen zu geben, welche bei Drehung des Kopfes um seine senkrechte Axe entstehen. Aber für diese scheint es mir unmöglich, die Drücke im inneren Ohre zu ihrer Erklärung herbeizuziehen, da in ihrer Verteilung nichts geändert wird.

Ich habe mir jedoch die Frage vorgelegt, ob man nicht eine Erklärung der Erscheinungen in einem »Sinnesgedächtnis« für die von dem Kopfe ausgeführte Drehbewegung suchen könnte,

eine Bewegung, welche einen Eindruck auf den horizontalen halbzirkelförmigen Kanal machen könnte.

Dies würde erklären können, warum die vertikale sagittale Ebene uns nicht in demselben Sinne, wie der Kopf, dabei beteiligt zu sein scheint, aber nicht, warum eine Täuschung im umgekehrten Sinne entsteht.

Uebrigens beweist der folgende Versuch, dass die vorgeschlagene Erklärung in allen Beziehungen unzureichend sein würde. Wenn wir anstatt den Kopf z. B. nach rechts zu wenden, den Körper nach links wenden und dabei den Kopf unbeweglich halten, so wird das Endresultat nicht geändert, die Täuschung entsteht in eben derselben Weise und doch hat, da man den Kopf nicht gerührt hat, das Labyrinth keinen Eindruck erhalten können.

Dies beweisst ausdrücklich, dass die bei der Drehung des Kopfes um seine senkrechte Axe beobachteten Erscheinungen nicht durch die Funktionen des inneren Ohres erklärt werden können und da die Neigung und Beugung des Kopfes um seine horizontalen Axen genau von derselben Art sind, so sind wir berechtigt, auch für sie jede Beteiligung des inneren Ohres bei ihrer Entstehung in Abrede zu stellen. Wir können dies in folgendem dogmatischem Satz zusammenfassen:

11) Das Organ, mittelst dessen wir die Richtungen im Raume beurteilen, gehört nicht dem inneren Ohre an. Wenn wir bei geschlossenen Augen und gradem Kopfe genaue Urteile über die Richtungen fällen, wenn wir bei geschlossenen Augen und bei um eine seiner Axen gedrehtem Kopfe Urteile über die Richtungen fällen, welche mit leichten aber konstanten Fehlern behaftet sind, so hat das innere Ohr weder mit diesen Urteilen noch mit diesen Fehlern etwas zu schaffen. Keiner seiner Teile kann als ein Organ angesehen werden, welches einen Sinn für die Orientierung des Kopfes in Beziehung auf die Hauptlinien des Raumes bildet, wenn der Körper in Ruhe ist.

Welche Empfindungen sind es nun, die uns unsre wahren oder falschen Urteile diktieren?

Ich habe mir die Frage vorgelegt, ob es nicht die Empfindungen der Zusammenziehung der Halsmuskeln sein können.

Wenn diese Muskeln sich im Zustande einer passenden Zusammenziehung befinden, um den Kopf gerade zu halten, so könnte die Haltung unseres Kopfes uns vielleicht die Richtung der Hauptebenen angeben. Wenn der Kopf sich nach einer seiner Achsen neigt, so wäre es nicht unmöglich, dass der neue Stand der Zusammenziehung der Halsmuskeln uns über den Winkel belehrte, welchen unser Kopf mit seiner Normalstellung macht, und uns gestattete, so die Richtung der Hauptebenen wiederzufinden. — Aber das erklärt nicht die konstanten Täuschungen, welche wir beobachtet haben.

Ausserdem habe ich durch Versuche die Unabhängigkeit unseres Gefühls für die Richtungen von der Zusammenziehung unserer Halsmuskeln nachweisen können:

Eine leinene Binde wird in festen Windungen um den Kopf gewickelt und mit ihrem freien Ende an einer Schnur befestigt, welche die Fortsetzung derselben bildet und über eine Rolle läuft. Am Ende der Schnur befindet sich ein Gewicht von 5—10 Kilo. Indem man die Rolle entsprechend dem Sinne, in welchem die Binde abgewickelt werden soll, einstellt, kann man an dem Kopfe einen Zug in beliebigem Sinne wirken lassen. Der Beobachter widersteht, um seinen Kopf aufrecht oder in irgend einer gegebenen andern Lage festzuhalten, dem Zuge der Gewichte, und zieht behufs dessen seine entgegenwirkenden Halsmuskeln zusammen. Allein trotz dieser Zusammenziehung, welche man sehr stark werden lassen kann, bleiben die Urtheile über die Richtung der Linien, so lange der Kopf gerade ist, richtig; wird aber der Kopf abgelenkt, so entsteht der Irrtum immer in dem durch die Ablenkung verlangten Sinne und unabhängig von den Muskeln, welche sich, um ihn festzuhalten, zusammengezogen haben.

So muss dieser zweite Erklärungsversuch ebenso wie der erste verworfen werden.

12) Der Kontraktionszustand der Halsmuskeln hat keinen Einfluss auf die Richtigkeit oder Unrichtigkeit unseres Gefühls von den Richtungen im Raume. *)

*) Den Versuch von Delage, dass durch eine Anspannung der Halsmuskeln in der angegebenen Weise keine Täuschung in der Orientierung hervorgebracht

Nach vielen Untersuchungen bin ich zu der Erkenntnis gelangt, dass man in der Richtung der Blicke, selbst bei geschlossenen Augen und unter einer dicken Binde die Ursache der beobachteten Erscheinungen zu suchen hat und zwar folgendermassen:

So lange wir den Kopf aufrecht und die Augen offen halten, ist es uns leicht, die Horizontale zu finden mit Hülfe der uns umgebenden Merkzeichen. Wir sind an dieses Verfahren so gewöhnt, dass wir selbst ohne Merkzeichen die Richtung des Blickes ohne Anstoss finden, welcher die Horizontale trifft und im Anschlusse daran alle die übrigen Haupt- und Zwischenlinien bestimmt. Dieser Blickrichtung entspricht ein gewisser Kontraktionszustand der graden Muskeln, welcher für beide Augen gleich stark ist und welchen wir nach Belieben sehr genau wiederherstellen können, wegen der grossen Uebung, welche wir darin haben.

Durch ungleiche Zusammenziehung der symmetrischen und gleiche Zusammenziehung der korrespondierenden [1]) Muskeln

1) Unter »korrespondierend« muss man das Umgekehrte von »symmetrisch« verstehen; so ist der Rectus externus des rechten Auges symmetrisch dem Rectus internus des linken Auges und korrespondierend dem Rectus externus dieses Auges.

wird, kann ich aus eigener Erfahrung bestätigen. Ich mache aber, um darauf hinzuweisen, wie vorsichtig man bei Uebertragung der Resultate von Bewegungsstörungen bei Tierversuchen auf den Menschen sein muss, auf die alten Versuche von Longet an Pferden, Schafen, Hunden, Kaninchen u. s. w. (Mémoire sur le troubles qui surviennent dans l'equilibration, la station et la locomotion des animaux, après la section des parties molles de la nuque. Gaz. médic. T. XIII., 1845 pag. 565 und Traité de la Physiologie T. II. 1850 pag. 156.) aufmerksam, welche neuerdings von von Cyon (Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie VIII. S. 309 und Gesammelte physiologische Arbeiten 1888 S. 252) bestätigt worden sind, wonach Tiere denen die M. recti capitis durchschnitten worden sind, ein Schwanken nach beiden Seiten hin, Spreizen und vorsichtiges Stellen der Beine beim Gehen, und Niederstürzen bei Laufversuchen zeigen, Erscheinungen, welche nach 5—6 Tagen aufzuhören pflegen. — Einen ähnlichen Versuch wie Delage, hat Mach (Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen 1875 S. 71 Nr. 3) angestellt mit dem Erfolge, dass man bei rascher Verminderung des Gewichtes, welches den Kopf zu drehen strebt, eine gleichsinnige Drehung zu empfinden glaubt. Aus Schäfer's Aufsatz (Pflüger Ach. f. d. ges. Physiologie 1888 Bd. 41. S. 580) ist nicht zu ersehen, ob er den Versuch Delage's und die daraus gezogenen Schlüsse kennt.

der beiden Augen schätzen wir die Winkelentfernungen der vor uns befindlichen Objekte. Wir sind auch derartig an dieses Verfahren gewöhnt, dass wir bei jedem Grade der Muskelkontraktion mit grosser Genauigkeit die Vorstellung des Winkels, welchen sie bestimmt, verbinden. Wenn unsere Augen geschlossen sind, so sind die Gesichtsangaben aufgehoben; aber das Gefühl des Kontraktionsgrades der Augenmuskeln *) bleibt bestehen und giebt mit grosser Genauigkeit die Vorstellung von dem Winkel, welchen der Blick mit seiner normalen Richtung bildet. Mittelst dieses Winkels können wir ohne Fehler die Richtung der sagittalen Horizontalen und von hier aus alle übrigen Richtungslinien wiederauffinden.

Sobald der Kopf anfängt, seine Stellung zu ändern, so thut es auch das Auge, aber es misst sehr genau den zurückgelegten Winkel und bewahrt so die Kenntnis von allen Richtungen.

In der That wissen wir durch wohlbekannte Beobachtungen, besonders durch die von Breuer [1]), dass, wenn wir den Kopf wenden, das Auge niemals passiv an der Drehung teilnimmt. Es bleibt anfangs an seinem Platze wegen einer »langsamen [2])

1) Cf. Breuer l. c. pag. 11—18.

2) Diese Langsamkeit ist nur relativ, denn die Bewegung kann sehr schnell sein.

*) Ueber die Unzulässigkeit der Annahme eines Muskelgefühles in dem Sinne, dass in den Muskeln selbst ein empfindendes Organ enthalten ist, welches uns über den Grad der Spannung unserer Muskeln unterrichtet, habe ich mich schon 1859 (Untersuchungen über den Druck- und Raumsinn der Haut in Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre Bd. V. S. 159) erklärt und glaube nachgewiesen zu haben, dass die dem Muskelsinne zugeschriebenen Empfindungen durch die Haut vermittelt werden. —

Speziell für die Augenmuskeln hat sich in analogem Sinne Hering (Beiträge zur Physiologie Heft I. 1861, S. 30 § 11) auf Grund von Versuchen mit Nachbildern ausgesprochen, und sagt sehr treffend: »die Augenlider geben unendlich mehr Empfindungen bei den Augenbewegungen, als die für gewöhnlich ganz unmerkbar sich spannenden Augenmuskeln.« Leider ist Hering immer noch »einer von den Wenigen, welche die Existenz eines auf Muskelgefühlen basierenden sogenannten Muskelsinnes leugnen« (ibid. Heft V. S. 316). — Wo hier von einer Empfindung des Muskelkontraktionsgrades die Rede ist, mache ich daher immer stillschweigend die Annahme, dass diese Empfindungen durch den Druck auf die umgebende Haut oder durch die Spannung derselben bewirkt werden. —

Die nicht einmal sichere Existenz von ein paar sensiblen Nervenfasern im

Zusammenziehung« der Muskeln der entgegengesetzten Seite, und wenn die Bewegung beendet ist, so gewinnt es durch eine »rasche Kontraktion« seine normale Lage in bezug auf die neue Stellung des Kopfes. Oefters vollzieht sich die Bewegung in mehreren Absätzen, indem das Auge wegen einer langsamen Kontraktion während eines Teiles der Drehung zurückbleibt, darauf seinen Platz durch eine rasche Kontraktion wiedergewinnt, dann von neuem wegen einer langsamen Kontraktion zurückbleibt und so fort: diese abwechselnden langsamen und raschen Kontraktionen bewirken, indem sie sich addieren, dasselbe, was die beiden grösseren Kontraktionen in vorhergehendem Falle zu Stande brachten.

Man begreift die Notwendigkeit dieser beiden Arten von Kontraktion, denn wenn das Auge passiv die Bewegungen des Kopfes mitmachte, so würden wir kein Mittel haben, den durchlaufenen Winkel zu messen (höchstens in einer viel gröberen Weise durch die Kontraktion der Halsmuskeln). Die langsame kompensatorische Kontraktion gestattet dem Auge, mittelst einer raschen Kontraktion denselben Winkel wie der Kopf zu durchlaufen, und so ihn zu messen, wie es, indem es schnell von dem einem zum anderen geht, die Winkeldistanz zweier vor ihm befindlicher Objekte misst.

Die Kontraktion der Augenmuskeln gestattet uns also, wie Breuer erkannt hat, eine sehr genaue Schätzung der Richtungen.

Wie können wir nun die angeführten Täuschungen, die Irrtümer erklären?

Sie erklären sich durch einen eigentümlichen und unerwarteten besonderen Umstand.

Lassen wir jemanden sich vor uns hinstellen mit offenen Augen und heissen ihm den Kopf stark wenden, z. B. nach rechts; das regelmässige Resultat ist dann, dass der Kopf sich um ungefähr 60° wendet und die Augen bis 90° oder darüber hinaus fortschiessen, dann in umgekehrter Richtung zurückkehren,

---

Muskel, auf welche Schäfer (Pflüger's Arch. Bd. 41 S. 636) sich beruft, beweist gar nichts für die Existenz eines so feinen Muskelgefühles, wie es für einen »Muskelsinn« gefordert werden muss. — In gleichem Sinne äussert sich Goldscheider (Ueber Ataxie und Muskelsinn, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1887 S. 491) — ebenso Loeb in Pflügers Arch. XXXX S. 279 Anm.

ohne aber jemals in die Richtung der Medianebene der Versuchsperson zurückzukehren; immer bleiben sie etwa 15° darüber hinaus stehen. Der Winkel der Versuchsperson mit ihrer Anfangsstellung beträgt also etwa 60°, der der Augen beträgt 75°.

Die Versuchsperson giebt sich keineswegs Rechenschaft von diesem Unterschiede, auch schreibt sie ihrem Antlitz den Winkel zu, welchen ihre Augen beschrieben und gemessen haben. Wenn man sie fragt, um wieviel sie den Kopf gewendet habe, so irrt sie sich jedesmal, indem sie die Wendung für grösser hält und es bedarf einer aufmerksamen Beobachtung, um den Irrtum zu berichtigen. *)

Das ist der Schlüssel für alle beobachteten Täuschungen. Sind die Augen geschlossen, so beträgt der von den Augen beschriebene und gemessene Winkel etwa 75°; wir schreiben dem Kopfe eine eben so grosse Drehung zu, und richten nun auch, um das vor uns befindliche Ziel zu treffen, den Stab auf 75° im umgekehrten Sinne**), was den angezeigten Irrtum um etwa 15° hervorbringt.

Der physiologische Grund dieser eigentümlichen Erscheinung kann, glaube ich, erraten werden.

Wenn unsere Augen offen sind, so lassen wir unaufhörlich unsere Blicke über die uns umgebenden Gegenstände hinwandern. Wenn das, was wir sehen wollen, sich in einer kleinen Winkeldistanz vor unserer Medianebene befindet, so wenden wir nur die Augen, um es anzusehen; ist im Gegenteil die Winkeldistanz

---

*) Bei der Wiederholung dieses wichtigen Versuches fand ich z. B. bei einer Kopfdrehung nach rechts um 45° von der Medianebene eine Anfangsstellung der Augen um 70°, welche bald zurückging auf 58° —

bei Kopfdrehung um 52,5°, Anfangsstellung von 89°, Zurückgehen auf 70°
» » » 60° » » 100°, » » 84°

Die Augen drehten sich also in gleichem Sinne mit dem Kopfe um bezw. 25°, 36,5°, 40° weiter und gingen dann um bezw. 12°, 19°, 16° wieder zurück, so dass sie nach dem Zurückgehen um bezw. 13°, 17,5°, 24° weiter gedreht waren, als der Kopf. — Im Ganzen scheint nach diesen und andern meiner Beobachtungen die Augendrehung grösser zu sein, wenn der Umfang der Kopfdrehung ein grosser ist — indess hat sich keine Proportionalität dabei ergeben.

**) Der Kopf ist um 60° gedreht, wir glauben, dass er um 75° gedreht ist — um ihn wieder auf das Merkzeichen einzustellen, wenden wir ihn um 75°, also um (75°—60°) 15° über das Merkzeichen hinaus.

gross, so wenden wir zugleich den Kopf und die Augen nach ihm hin. Der Kopf legt den einen Teil des Wegs zurück, die Augen den übrigen Teil und niemals machen wir eine starke Kopfwendung, ohne die Augen noch stärker zu wenden. Und daher kommt es, dass wir selbst bei geschlossenen Augen und wenn es gar keinen Nutzen hat, doch fortfahren, es zu thun, indem wir, ohne uns darüber Rechenschaft zu geben, einer eingewurzelten Gewohnheit folgen.

Für diese Beobachtung ist auch die Umkehrung zutreffend. Wenn wir nämlich um uns her blicken, so machen wir niemals eine starke Augenwendung, ohne auch den Kopf ein wenig zu wenden. Wenn also das allgemeine Prinzip für die Empfindungstäuschungen richtig ist, so müssen wir, indem wir die Augen wenden, ohne den Kopf zu wenden, Urteilstäuschungen hervorrufen, denn wir haben alsdann unsern Augenbewegungssinn gezwungen, unter ungewohnten Umständen zu fungieren, und dies ist die Bedingung zur Erzeugung von Täuschungen.

Ich habe mich dessen versichern können, dass es sich wirklich so verhält:

Stellen wir uns mit einem Stabe in der Hand einem Merkmale gegenüber auf und wenden die Augen unter einer Binde, oder besser hinter einem Schleier, welcher sich ganz dicht vor der Versuchsperson befindet, stark nach rechts oder nach links, ohne den Kopf zu bewegen: wenn wir unter diesen Umständen den Stab nach dem Ziele zu richten suchen, so begehen wir einen Fehler von ungefähr 10° im umgekehrten Sinne der Augenwendung.

Dies lässt sich leicht erklären: nachdem wir nämlich die Augen stark gewendet haben, urteilen wir, als ob sich unser Kopf der Gewohnheit gemäss in demselben Sinne gewendet hätte, und um dieser Drehung, welche nicht stattgefunden hat, Rechnung zu tragen, richten wir den Stab nach der entgegengesetzten Seite vom Ziele.

Der Irrtum würde sogar ohne Zweifel grösser sein, wenn die ungenaue Empfindung von der Kontraktion der Halsmuskeln uns nicht hinderte, eine starke Drehung anzunehmen, welche in der That nicht vorhanden ist.

Beweist dieser Versuch nicht deutlich, das die halbzirkelförmigen Kanäle mit unserer Beurteilung der Richtungen im Raume nichts zu thun haben? Denn wenn es sich anders verhielte, wie sollte man Täuschungen erklären. welche entstehen, ohne dass sich etwas in ihrer funktionellen Thätigkeit geändert hat?

Die Hebung und Senkung der Augen bringt dieselben Resultate hervor, aber weniger auffallend, ohne Zweifel, weil diese Bewegungen selten in einem so grossen Umfange erfolgen.

Was die Täuschungen bei Drehung des Kopfes um seine sagittale Achse betrifft, so lässt sich auf sie ganz die nämliche Erklärung anwenden. Sie rührt jedenfalls davon her, dass wir wie in den andern Fällen urteilen, unser Kopf sei stärker geneigt, als er es in der That ist: ich habe mich durch den Versuch davon überzeugt [1]). Aber die Ursache dieser falschen Auffassung

---

1) Aubert hat nachgewiesen, dass, wenn unser Kopf nach z. B. der rechten Schulter geneigt ist, eine vertikale helle Linie in einem dunkeln Zimmer stark nach links geneigt scheint. Die scheinbare Neigung beträgt ungefähr die Hälfte von der des Kopfes und kann über 40^0 werden. Lässt man Licht einfallen, so scheint die Linie sich zurückzudrehen.

Diese Gesichtstäuschung kann in keiner Weise zur Erklärung der hier in Rede stehenden Täuschung dienen, denn sie ist 1) von anderer Art, 2) viel stärker, 3) von entgegengesetztem Vorzeichen. In der That, wenn wir mit geschlossenen Augen einen Stab vertikal zu richten suchen, so neigen wir ihn in entgegengesetztem Sinne wie den Kopf. Also scheint uns diese schiefe Richtung in entgegengesetztem Sinne vertikal und die wirkliche Vertikale scheint uns schief in demselben Sinne wie der Kopf; was also das Umgekehrte von der Aubert'schen Täuschung ist.

Diese Gesichtstäuschung würde nach Aubert (loc cit.) davon herrühren, dass wir die Empfindung von der Neigung unseres Kopfes verlieren, und nach Helmholtz (Physiologische Optik p. 618) davon, dass wir diese Neigung unter ihrem Wert schätzen. Mulder (loc. cit) hat gezeigt, dass dies nicht der Fall ist, und ich selbst habe gefunden, dass im Gegenteil unser Kopf uns mehr geneigt zu sein scheint, als er es in Wirklichkeit ist.

Der Versuch Aubert's scheint mir einfacher erklärt werden zu können. Wenn wir auf der Seite liegen, so zeichnen sich die vertikalen Linien horizontal in Beziehung auf die morphologischen Axen des Auges und die horizontalen vertikal. Die Gesichtsempfindung hat wohl das Bestreben, die Linien so beurteilen zu lassen, wie sie sich auf unserer Netzhaut abbilden, aber sie ist nicht sehr gebieterisch und wird leicht verbessert durch einen intellektuellen, unbewussten Vorgang, welcher uns veranlasst, den Gegenständen eine Anordung abzusprechen, welche mit ihrer Natur unverträglich ist (Bäume, Häuser u. s. w. welche wir nicht für liegend oder

darf nicht in einem Uebermasse der Augendrehung gesucht werden, weil im Gegenteil diese die Drehung des Kopfes nur zu einem kleinen Teil kompensiert. Ich gestehe, dass ich die Ursache nicht finden kann.

Der Irrtum rührt, wie wir sagten, in den beiden andern Fällen davon her, dass ein Teil der von den Augen bewirkten Drehung dem Kopfe zugeschrieben wird, mit Ausnahme der 15^0.

---

auch nur für stark geneigt halten können). Die Sache ist um so leichter, als die Drehung der Augen und die Empfindung von der Stellung des Kopfes den Fehler schon ungefähr um die Hälfte berichtigen.

Was die Netzhaut ausdrücklich angibt, das sind die aufeinander bezüglichen Verhältnisse der Linien, welche sich auf ihrer Fläche abbilden, und nicht die Verhältnisse der Linie selbst zu den morphologischen Axen des Auges*).

---

*) Ich kann eine wirkliche Erklärung meines Versuches in den Worten Delage's nicht finden und bin auch durch desfallsige Korrespondenz mit Herrn Professor Delage nicht darüber ins Klare gekommen.

Ich stelle den Versuch jetzt so an: Bei aufrechter Stellung im übrigens absolut finsteren Zimmer erzeuge ich mir ein Nachbild von einer langen vertikalen Gasflamme, lösche dann die Flamme aus, neige Kopf oder Körper oder beide bis zur Horizontalen und blicke nach der hellen vertikalen Linie: das Nachbild erscheint nahezu horizontal, die helle Linie entgegengesetzt der Kopfneigung um etwa 45^0 gedreht; erleuchte ich, ohne meine Stellung zu ändern, plötzlich das Zimmer, so bleibt das Nachbild unverändert nahezu horizontal und die schiefe helle Linie geht ziemlich schnell in die vertikale Lage zurück.

Noch eigentümlicher gestaltet sich die Erscheinung, wenn ich, statt den Kopf oder Körper aktiv zu neigen, mich auf das S. 41 beschriebene Zapfenbrett lege und demselben eine über die Horizontale um 5^0 hinausgehende Lage gebe, so dass der Kopf um 5^0 unter die Horizontale geneigt ist. Dann habe ich auf dem Zapfenbrette liegend die von Delage entdeckte Empfindung (s. S. 42), dass der Körper um etwa 120^0 geneigt ist; öffne ich der hellen Linie gegenüber im übrigens ganz finstern Zimmer die Augen, so erscheint die helle Linie nach der entgegengesetzten Seite um etwa 45^0 geneigt; lasse ich endlich Licht zu, so erscheint die helle Linie wieder vertikal und ich selbst glaube horizontal zu liegen. Ich lege also den Raum in 3 verschiedenen einander widersprechenden Weisen aus: 1) nach der Aussage der Hautempfindungen glaube ich mit dem Kopfe um etwa 30^0 unter die Horizontale geneigt zu sein; 2) nach der Aussage der hellen Linie glaube ich um 45^0 über die Horizontale geneigt zu sein; 3) nach der Orientierung mit Hülfe bekannter Objekte, welche Herr Delage sehr passend als le témoignage de l'éxperience bezeichnet, glaube ich horizontal zu liegen. Woher rührt die falsche Angabe der Netzhaut bei Fortfall aller bekannten Objekte? Ich bin ausser Stande, diese Frage zu beantworten.

Um sich davon zu überzeugen, genügt es, sich in ein cylindrisches Gehäuse von Papier zu begeben, auf dessen Wänden vertikale, gleich weit von einander entfernte Linien gezogen sind. Man markiert durch ein kleines, wenig sichtbares Zeichen diejenige, welche genau der Brust gegenüber liegt. Wenn man dann die Augen nach der einen Seite wendet, und man die vorher markierte Linie wiederzufinden sucht, so irrt man sich immer im Sinne einer Augendrehung um eine Anzahl von Linien, welche einem Winkel von ungefähr 15° entsprechen. Die Täuschung ist hartnäckig genug, dass man einen Augenblick aufmerken muss, um die mit einem Zeichen versehene Linie wiederzufinden — man sucht sie immer auf der Seite, nach welcher die Augen hingewendet worden sind. [1])

1) Ich kann dem Verlangen nicht widerstehen, auf eine Gesichtstäuschung hinzuweisen, welche ich in diesem Apparate bemerkt habe. Während ich die in Rede stehenden Erscheinungen beobachtete, schienen mir die Linien sich zu verdoppeln, dann, nachdem die Entfernung der beiden Bilder der wirklichen Distanz der Linien gleich geworden war, legten die beiden Doppelbilder sich über die ursprünglichen Bilder und ich hatte sogleich die Empfindung einer beträchtlichen Vergrösserung. Es schien mir, als befände ich mich im Mittelpunkte eines grossen runden Saales, auf dessen Wänden grosse schwarze Streifen mit breiten Zwischenräumen gezogen wären. Ich habe den Versuch mehrfach wiederholt.

Die Erklärung dieser Täuschung ist sehr einfach: während der Beobachtung waren meine Augen in divergierendes Schielen geraten und da die Bilder nicht mehr auf korrespondierende Punkte der Netzhaut fielen, so erschienen sie zuerst doppelt, dann indem ihre Entfernung von einander zunahm, waren sie aufs Neue verschmolzen. Von da ab war das Totalbild wieder identisch geworden, was es vor der Verdoppelung auch war, aber infolge des divergierenden Schielens befand sich der Kreuzungspunkt der Sehlinien sehr entfernt und alle Objekte schienen bis zu dieser Entfernung zurückgewichen. — Aber diese in grössere Entfernung verlegten Objekte konnten auf der Netzhaut gleiche Bilder nur unter der Bedingung entwerfen, dass sie viel grösser erschienen — daher die beobachtete Täuschung. — Mit einem Worte, die Winkelgrössen der Objekte bleiben dieselben, aber da ihre Entfernung zugenommen zu haben schien, so erschien es so, als ob sie selbst grösser geworden wären.

Dieser Versuch enthält den strengen Beweis, dass bei der Wahrnehmung der Entfernungen der Konvergenzgrad der Augen eine grössere Rolle spielt, als die Akkommodation, weil er eine Täuschung über die Entfernung trotz der entgegengesetzten Angaben dieser letzteren erzeugen kann.

Alle diejenigen, welche die Fähigkeit haben, ihre Augen in den Zustand eines momentanen divergierenden Strabismus zu versetzen, können diesen Versuch machen.

Endlich kann ein letzter Versuch zum Beweise dienen, dass die Täuschungen unabhängig von der Stellung des Kopfes und einzig und allein durch den Augenbewegungsapparat hervorgerufen sind.

Wenn man den Kopf wendet und sorgfältig die Augen in ihrer normalen Orientierung in Bezug auf ihn hält, so entsteht keine Täuschung. Aber man muss sich anstrengen, dies zu erreichen, denn, wie gesagt, ist ein natürliches Bestreben da, die Augen stärker als den Kopf zu wenden,

Man kann dem Versuche eine noch schlagendere Form geben: wendet man den Kopf nach der einen und die Augen stark nach der entgegengesetzten Seite, so entwickelt sich die Täuschung immer in dem durch die Richtung der Augen verlangten Sinne und keineswegs in demjenigen, welcher die Drehung des Kopfes anzeigt.

Es folgt aus allem Vorhergehenden, dass wir uns mittelst des Muskelsinnes des Auges Rechenschaft über die Richtungen in dem uns umgebenden Raume geben können; aber wir dürfen die Wichtigkeit dieses Sinnes nicht übertreiben.

Zunächst ist sicherlich der Augenbewegungsapparat nicht das ursprüngliche und ausschliessliche Organ für die Empfindung der Richtung. Wir haben angefangen, mit offenen Augen zu urteilen, also geben die Gesichtsempfindungen uns die Vorstellung der Richtungen viel unmittelbarer, als die Muskelempfindungen.

Der Tastsinn hat uns zuerst das Dasein des äusseren Raumes erkennen lassen; er hat uns dann gelehrt, dass die Gegenstände sich in geradliniger Richtung da befinden, wo sie gesehen werden. Wenn zwei Objekte gleichzeitig gesehen werden, so hat er uns gelehrt, auf die rechte Seite dasjenige zu verlegen, dessen Bild sich zur linken befindet, und umgekehrt; er hat uns auch gelehrt, ihre Winkeldistanz zu schätzen durch die Entfernung zwischen ihren Bildern auf der Netzhaut. Wenn, während unsre

---

Diejenigen, welche das Vermögen, konvergierend zu schielen, besitzen, können ihn auch machen, aber sie haben natürlich die Empfindung des Kleinerwerdens.

(Der Versuch ist in dieser Anordnung wirklich frappant. Statt divergierend zu schielen, kann man eine schwache prismatische Brille benutzen.)

Augen von einem Gegenstand zum andern wandern, das Bild des ersteren seinen Ort auf der Netzhaut verändert, so ist es wieder der Tastsinn, welcher uns gelehrt hat, aus der Ortsveränderung dieses Bildes die Winkeldistanz der beiden Objekte zu bestimmen.

Um aber die Ortsveränderung des Bildes hervorzubringen, haben sich die Augenmuskeln zusammengezogen und wir sind durch Gewöhnung dazu gelangt, die Winkeldistanz durch die Kontraktion der Muskeln, welche thätig gewesen sind, messen zu können.

Kurz, die Organe der statischen Richtungsempfindungen, diejenigen, welche nach meiner Meinung in Wahrheit den Namen „Raumsinn" verdienen würden, sind ihrer drei: zuerst der Tastsinn, sicher aber unbequem und von geringer Tragweite, welcher bald seinen Platz dem Gesichtssinn abgetreten hat, nachdem er denselben erzogen hat; dann der Gesichtssinn, welcher seinerseits den dritten Sinn, den »Muskelsinn des Auges« herangebildet hat. Diese beiden letzteren wirken unaufhörlich gemeinschaftlich im Hellen; der letztere ist allein thätig, wenn die Gesichtsempfindungen für den Augenblick unterbrochen oder endgültig vernichtet sind, und seine Empfindlichkeit ist so gross, dass sie beinahe der des Gesichtssinnes gleichkommt.

Was die halbzirkelförmigen Kanäle betrifft, so haben sie mit alledem nichts zu thun.

Wir können dieses Kapitel dahin zusammenfassen;

13) Das ursprüngliche Organ für die statischen Empfindungen der Richtung ist der Tastsinn, welcher seine Stelle dem Gesichtssinn abgetreten hat, nachdem er ihn erzogen hat. Gemeinschaftlich mit dem Gesichtssinne und besonders in seiner Abwesenheit ist das Organ für diese Empfindungen der Augenbewegungsapparat. Durch die gleiche Kontraktion der geraden Augenmuskeln erkennen wir die Richtung der sagittalen Horizontalen, und im Anschlusse daran aller übrigen Hauptlinien und Zwischenlinien, wenn der Kopf aufrecht ist. Durch die Grösse der Kontraktion der korrespondierenden Muskeln messen wir die Drehung des Kopfes, wenn er seine Stellung ändert, und können durch sie die Richtung der Linien wieder auffinden. Alle statischen Täuschungen über die Richtung

sind von den die Augen bewegenden Muskeln abhängig, und diejenigen Täuschungen, welche durch die Veränderung der Kopfstellung hervorgebracht zu werden scheinen, werden in Wirklichkeit durch die sie begleitenden Bewegungen des Auges hervorgerufen.

IV. Statische Empfindungen und Täuschungen in Beziehung auf die Orientierung des Kopfes und Körpers.

A. Orientierung des Kopfes. Die Empfindungen und Täuschungen, welche durch die Veränderung der Kopfstellung in Beziehung auf den Rumpf hervorgerufen werden, haben wir studiert; wir brauchen sie hier nicht nochmals zu beschreiben und es wird genügen, die Ursache derselben im folgenden Kapitel zu wiederholen.

B. Orientierung des Körpers. — Zu diesen Versuchen habe ich mich folgender Vorrichtung bedient:

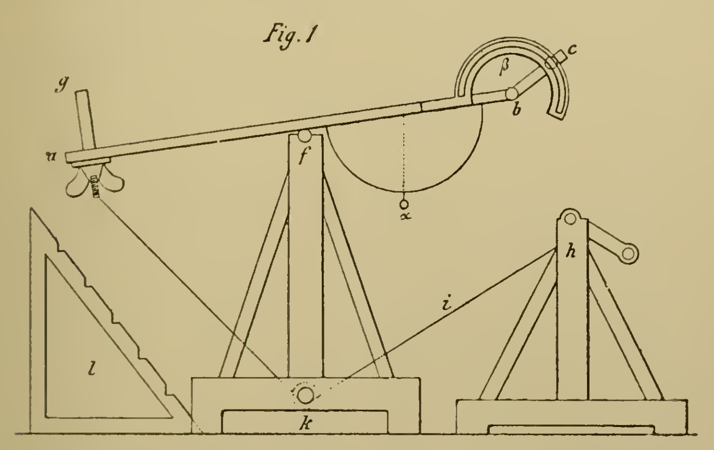
Ein Brett, etwas länger und etwas breiter als der Körper, kann sich mittelst zweier Zapfen um eine horizontale Achse drehen. Auf diesem liegt die Versuchsperson ausgestreckt. Es ist an seinem unteren Teile mit einem Brettchen versehen, welches den Füssen zur Stütze dient. Sein oberer Teil wird in einer Länge von ungefähr 30 cm von einem besonderen Stücke gebildet, welches mittelst zweier Charniere mit ihm verbunden ist und in jeder Stellung fixiert werden kann. Das Gelenk muss sich in der Höhe des Halses der Versuchsperson befinden, der Art, dass sie imstande ist, den Kopf bequem nach hinten zurückzubeugen, ohne aufzuhören unterstützt zu sein. Aber in der Mehrzahl der Versuche und ohne gegenteilige Angabe ist der obere Teil des Brettes in der Verlängerung des unteren Teiles festgestellt.

Die Versuchsperson streckt sich auf dem Apparate aus, die Füsse ruhen auf dem unteren Brettchen, der Körper liegt ganz gerade und der Kopf in seiner Normalstellung. Die Augen sind verbunden und ein Gehülfe ertheilt ihm die verschiedenen Neigungen. — Ein von 10^0 zu 10^0 geteilter Kreis ist mit einem der Zapfen fest verbunden und gestattet eine annähernde Winkelmessung von 5^0, was für diese Versuche völlig genügt.*)

*) Das Brett ab dreht sich um die Axe f und kann mittelst der Schnur i i, welche an dem Fussende a des Brettes befestigt ist und zu der Welle mit Kurbel h

a) Neigung des Körpers um seine Queraxe.

Mach hat schon diesen Versuch in dem Zapfenstuhle seines Apparates gemacht, und gefunden, dass, wenn die Neigung sich



der Horizontalen nähert, man weniger von der Vertikalen entfernt zu sein glaubt, als man es in Wirklichkeit ist.

Gerade das Gegenteil ist wahr, und der Unterschied rührt nicht von den Versuchsbedingungen her, denn ich habe gefunden, dass für die sitzende Stellung dieselben Empfindungen wie für die liegende Stellung sich ergeben. — Ich habe diese Empfindungen sorgfältig nicht nur bei mir sondern bei mehreren, Personen gemessen und gebe hier die Zahlen, welche ich gefunden habe:

In vertikaler Stellung glaubt man um einige Grade nach vorn geneigt zu sein (4 ° oder 5 °). Um die Empfindung einer vertikalen Stellung zu haben, muss man ungefähr 5 ° nach hinten geneigt sein.

geht, in jede beliebige Neigung geräuschlos und ohne Erschütterung gebracht und darin festgehalten werden. Die Neigung des Brettes wird an der Kreisteilung α abgelesen, g ist das Brettchen zur Stütze für die Füsse, welches der Grösse der Versuchsperson gemäss verstellt werden kann, damit der Nacken derselben über dem Charnier b des Kopfbrettes bc zu liegen kommt, dessen Neigung an dem Gradbogen β abgelesen und festgestellt wird. — Das Gestell l hat die Bestimmung das Fussende des Brettes a b unterstützen zu können. (Der ganze Apparat ist von Herrn Custos Westien angefertigt und gezeichnet worden.)

Vergrössert man die Neigung, so bleibt dieser kleine Irrtum lange bestehen. Bei 45 ⁰ glaubt man noch den Vertikalen etwas näher zu sein, als den Horizontalen. Um zu glauben, dass man 45⁰ geneigt ist, muss man um 50⁰ geneigt sein.

Zwischen 50 ⁰ und 60 ⁰ ist der Irrtum gleich Null.

Von diesem Punkte aus ändert sich das Vorzeichen und man glaubt von der vertikalen Ausgangsstellung weiter entfernt zu sein, als man es in Wirklichkeit ist.

Gegen 75⁰ oder 78⁰ hält man sich für genau horizontal.

Bei 90⁰, d. h. wenn man wirklich horizontal liegt, glaubt man um wenigstens 10⁰ nach hinten herüber geneigt zu sein.

Von da an nimmt der Irrtum mit grosser Geschwindigkeit zu; eine schiefe Lage von ungefähr 15⁰ nach hinten giebt die Empfindung, als wäre man um 45⁰ geneigt; endlich, wenn man 30⁰ jenseits der Horizontalen geneigt ist, so hält man sich für völlig vertikal, den Kopf nach unten.

Diese Empfindungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Wirklicher Winkel	Scheinbarer Winkel
0⁰ (vertikal)	4⁰ oder 5⁰ (Neigung nach vorn)
5⁰ (Neigung nach hinten)	0⁰ (vertikal)
45⁰ » » »	40⁰ (Neigung nach hinten)
50⁰ » » »	45⁰ » » »
60⁰ » » »	60⁰ » » »
75⁰ bis 78⁰ (Neigung nach hinten)	90⁰ (horizontal)
90⁰ (horizontal)	90⁰ + 10⁰ = 100⁰ (Rückwärtsneigung nach hinten)
90⁰ + 15⁰ = 105⁰ (Rückwärtsneigung nach hinten)	90⁰ + 45⁰ = 135⁰ —
90⁰ + 30⁰ = 120⁰ —	90⁰ + 90⁰ = 180⁰ (vertikal, Kopf nach unten)

Man sieht, dass es eine mittlere Neigungslage von ungefähr 60⁰ nach hinten giebt, für welche die Empfindung zutreffend ist. Für geringere Neigungen begeht man einen kleinen Irrtum (von etwa 5⁰), indem man mehr nach vorn geneigt zu sein glaubt, als man es in Wirklichkeit ist. Für stärkere Neigungen glaubt man im Gegenteil stärker nach hinten geneigt zu sein, als man es wirklich ist. Der Irrtum, anfangs gering, nimmt sehr schnell zu und erreicht endlich den ungeheuren Wert von 60⁰. *)

*) Bei Wiederholung dieser Versuche von Delage habe ich teils das Zapfen-

Man kann diese Empfindungen deutlicher zur Anschauung bringen dadurch, dass man mittelst eines Stabes die Richtung

brett von Holz, auf welchem ich mit Unterstützung der Füsse durch ein Fussbrett lag, benutzt, teils das Brett mit einer Matratze bedeckt, teils die angestemmten Füsse durch Ziehen an Seilen, welche an dem Fussbrette befestigt waren, mit den Händen und Armen gegen das Fussbrett gepresst, ohne dass ich diesen Variationen einen merklichen Einfluss auf die gewonnenen Resultate zuschreiben könnte — ich fand immer Delage's Angaben bestätigt, und kann daher dem auf S. 48 gesagten nicht beistimmen.

Dagegen hat sich in allen, zu sehr verschiedenen Zeiten angestellten Versuchsreihen die auffallende Erscheinung ergeben, dass die scheinbare Neigung viel geringer geschätzt wird, wenn erheblich stärkere Neigungen des Körpers vorausgegangen sind, als wenn das nicht der Fall gewesen ist. Ich habe in der folgenden Tabelle 4 Versuchsreihen zusammengestellt und nach den wirklich abgelesenen Neigungen des Zapfenbrettes geordnet. — Fast durchgehends sind die von mir geschätzten Neigungen grösser, als die wirklichen Neigungen, namentlich bei Annäherung an die Horizontale (90°). Aber die unterstrichenen Zahlen, welche Angaben aus der Zeit der Versuchsreihe bedeuten, nachdem stärkere Neigungen erteilt worden waren, sind fast sämtlich bedeutend niedriger, als die nicht unterstrichenen, denen nur schwächere Neigungen des Zapfenbrettes vorausgegangen waren. Es scheint darnach, dass auch hier eine gewisse Kontrastwirkung sich geltend macht.

Zusammenfassung der Versuche vom 18. u. 23. August 1887 und vom 7. Februar 1888:

Ablesung:		Angabe der geschätzten Neigung:
0° (vertikal)		
22°	»	25° Neigung nach hinten
30°	»	30° » » »
35°	»	45°—15° bis 20°
45°	»	45°—20°
50°	»	50°—45°—60° bis 70°—50°
53°	»	60° bis 70°
54°	»	45°—50°
58°	»	45°
60°	»	45°—80°—45°—60°—50°
70°	»	90°—55°—fast 90°—65°—fast 90°
70°	»	60°—80°—60°
78°	»	80°
80°	»	95°—70°—95°—80°—
80°	»	110°—80°—95°—
85°	»	110°—95°—180° (!) — 90°.
90° (horizontal)		100 bis 105—90°—120°—120°
90°	»	180°—92°—120°—95°

der Horizontalen anzugeben sucht. Für die Stellungen innerhalb 60^0 hebt man das Ende des Stabes ein wenig höher, für die Stellungen von stärkerer Neigung als 60^0 senkt man denselben immer stärker und stärker und man ist erstaunt, wenn man die Versuchsperson ihren Stab beinahe vertikal halten sieht, indem sie ihn horizontal zu halten glaubt. Die Richtung des Stabes zeigt für die Gehülfen die Stellung an, welche die Versuchsperson selbst ihrem Körper zuschreibt und bestimmt sie zugleich genauer.

Die Beugung des Kopfes nach vorn oder hinten hat auf unsre Empfindungen die im Vorhergehenden (S. 22) beschriebenen Wirkungen, d. h. sie giebt die Empfindungen einer Mitbewegung des Körpers in gleichem Sinne: Beugung nach vorn vergrössert die Irrtümer, welche von 0^0 bis 60^0 begangen werden, und verkleinert diejenigen zwischen 60^0 und 120^0; Rückwärtsbeugung verkleinert die zwischen 0^0 und 60^0 und kann sogar ihr Vorzeichen verändern, sie vergrössert die schon an sich sehr starken Irrtümer zwischen 60 und 120^0. So glaubt man, wenn der Kopf stark nach hinten gebeugt ist, schon sehr schief zu liegen, wenn man nur horizontal liegt und die Empfindung der Vertikalstellung mit dem Kopfe nach unten entwickelt sich viel eher.

b) Neigung des Körpers um seine sagittale Axe.

Die seitliche Neigung kann mittelst desselben Apparates studiert werden: es genügt dazu, sich auf die Seite auf das Zapfenbrett zu legen. Diese sehr unbequeme Lage gestattet

---

Ablesung:		Angabe der geschätzten Neigung:
95^0	»	115^0—135^0—$\underline{170}$—110^0—$\underline{110^0}$
98^0	»	160^0—120^0
100^0	»	135^0
103^0	»	160^0
105^0	»	160^0.

(Die unterstrichenen Zahlen bedeuten Angaben, welche gemacht wurden, nachdem schon stärkere Neigungen vorhergegangen waren.)

Ich bemerke dazu, dass die Empfindungen von der Grösse der Neigung individuell sehr verschieden zu sein scheinen — ohne dass ich bis jetzt etwas Näheres über die Ursache oder die Bedingungen habe ermitteln können.

nicht ein so genaues Studium der Empfindungen. Sie scheint zu fast den nämlichen Täuschungen zu führen, wie die Neigung in der Medianebene.

c) Drehung des Körpers um seine vertikale Axe.

Die Lageveränderungen des Körpers um seine vertikale Axe geben zu keiner besonderen Erscheinung Anlass. In der That ist die Vertikalstellung die normale, und die Urteile, welche man über die Lage der Medianebene in bezug auf den umgebenden Raum fällt, sind unter anderer Form dieselben, wie diejenigen, welche man über die Orientierung des umgebenden Raumes in bezug auf diese Ebene fällt. Allein das Studium dieser letzteren gehört nicht in dieses Kapitel und ist schon im Vorhergehenden enthalten.

V. Sitz der Empfindungen und Ursache der statischen Täuschungen in bezug auf die Orientierung des Kopfes und Körpers.

A. Orientierung des Kopfes. Die Frage nach der Orientierung des Kopfes in bezug auf die Körperachsen ist schon in den Auseinandersetzungen der beiden ersten Kapitel mit inbegriffen.

Wie man sich erinnert, verlegte Goltz in die Ampullen der halbzirkelförmigen Kanäle, welche mehr oder weniger durch die Endolymphe nach dem Grade ihrer Neigung ausgedehnt werden sollen, den Sinn für die Orientierung des Kopfes in bezug auf die Achsen seiner Normalstellung.

Diese Frage ist schon von uns geprüft worden. Wir haben die Empfindungen und die Täuschungen studiert, welche die Lageveränderung des Kopfes hervorrufen. Wir haben, wie ich glaube, mehr als hinreichend bewiesen, dass wir (bei Abwesenheit von Gesichtsangaben) durch die Empfindungen des Augenbewegungsapparates erkennen, in welchem Sinne wir unsere Kopfstellung geändert haben und deren Umfang messen[1]. Also:

1) Wir haben gesehen, dass für die Drehung des Kopfes um die sagittale Axe der von den Augen beschriebenen Winkel weder gleich, noch selbst proportional ist der Neigung des Kopfes, aber das hat wenig zu bedeuten, vorausgesetzt, dass das Sensorium wenigstens annähernd den Grad der Kopfneigung kennt, welcher jedem Grade der Augendrehung entspricht.

14) Die Muskelempfindungen des Augenbewegungsapparates, nicht die Empfindungen der halbzirkelförmigen Kanäle belehren uns über die Stellung unseres Kopfes in Beziehung auf seine Achsen.

B. Orientierung des Körpers. Es geht daraus hervor, dass die halbzirkelförmigen Kanäle nicht imstande sind, uns über die Orientierung unseres Körpers in Beziehung auf die Vertikale zu belehren, denn sie könnten es nur vermittelst der des Kopfes thun, und wir haben eben gesehen, dass sie diese Funktion nicht haben. Wie sollen wir ausserdem durch sie die so bedeutenden Täuschungen erklären, welche durch die schiefe Lage unseres Körpers veranlasst werden.

Die Zusammenziehung der Augenmuskeln, welche Rechenschaft gab von den durch die abnorme Stellung des Kopfes hervorgebrachten Täuschungen, leistet hier keine Hilfe; sie ist zwar dabei im Spiele, aber nur insofern, als sie die Täuschungen vermindert, anstatt sie hervorzurufen.

Folgendes habe ich hierüber beobachtet: wenn die Versuchsperson unter einem Winkel von 40 ^{0} bis 60 ^{0} geneigt ist, so ist die Blickrichtung senkrecht zum Antlitz. Je mehr sich das Brett der Senkrechten nähert, um so mehr hebt sich der Blick und bei völlig vertikaler Lage ist er über den Horizont gerichtet, aber nur um wenige Grade. Umgekehrt, wenn das Brett sich nach hinten neigt, senkt sich der Blick, und jenseits der horizontalen Lage wird die Senkung sehr beträchtlich, ja bald kommt die Versuchsperson, indem sie ihre Augen stark nach unten verdreht, dahin; instinktiv auf die Fussspitzen zu blicken.

Die Wirkung dieser Blickrichtungen besteht nach dem pag. 33 aufgestellten Gesetze darin, den begangenen Fehler zu vermindern, und ich habe in der That beobachtet, dass, wenn man den Blick zwingt, geradeaus gerichtet zu bleiben, oder im entgegengesetzten Sinne seines natürlichen Bestrebens abzuweichen, der Irrtum zunimmt.

Die wirkliche Ursache der wahrgenommenen Empfindungen und Täuschungen scheint mir unabhängig von irgend einem speziellen Organe zu sein. Ich glaube, dass es eine ganz allgemeine und verwickelte Empfindung ist, in welcher sich zusammenmischen der Druck auf die Fusssohlen, auf den Rücken, auf die

Gelenke der Glieder und des Beckens, der Zug oder Druck der Baucheingeweide und vielleicht des Gehirns, und für die Rückwärtsneigungen der Andrang des Blutes zum Kopfe,

Die Drücke im Labyrinth können eine Rolle spielen, vielleicht sogar eine wichtige, aber diese Rolle ist weder eine ausschliessliche noch selbst eine überwiegende.

Es scheint mir, dass wenn wir bei etwa 60 ^{0} unsere Neigung richtig schätzen, dies an einem gewissen Gleichgewicht der auf den Rücken und auf die Fusssohlen wirkenden Drücke liegt, an der Empfindung einer gut verteilten Unterstützung, daran, dass die Schwerlinie beinahe mitten durch die Oberfläche der Rücken- und Fussunterstützung geht.

Je mehr wir uns nach vorn neigen, um so mehr verändert die Schwerlinie in demselben Sinne ihre Lage und wenn wir ganz aufgerichtet sind, so geht sie beinahe durch das Ende der grossen Zehen, daher die Empfindung einer gewissen Schiefstellung nach vorn. Uebrigens sind die begangenen Irrtümer nicht sehr gross, denn wir sind an geneigte Lagen dieser Art gewöhnt,

Nähern wir uns der horizontalen Lage, so tritt das entgegengesetzte ein. Bevor wir dieselbe erreicht haben, werden infolge des Anliegens des Körpers an dem unterstützenden Brette die Drücke auf die Fusssohlen gleich Null und wir glauben, eine vollkommen horizontale Lage zu haben. Von da ab, wo wir die Horizontale erreichen, beginnt der Blutandrang zum Kopf sich geltend zu machen. Einige Grade tiefer nimmt er schnell zu und es entwickelt sich ein Bestreben zum Gleiten, welches, da es durch keinen Stützpunkt aufgehalten wird, die Vorstellung einer drohenden Gefahr und infolge davon die Vorstellung einer viel stärkeren Neigung entstehen lässt, als sie in Wirklichkeit ist, um so mehr, da wir nicht imstande sind, unsern Irrtum durch irgend eine Erfahrung, welche wir über den Grad. dieser Empfindung gemacht haben, zu berichtigen.

Ich stütze meine Aussage auf die Erfahrung, dass, wenn der Kopf durch ein mit einem Kissen versehenes Brett unterstützt wird, das Bestreben zum Gleiten vermindert ist, die Empfindung der Gefahr verschwindet und nur der Blutandrang nach

dem Kopfe und der Druck der beweglichen Teile des Organismus übrig bleibt. Auch vermindert sich der Irrtum unmittelbar in hohem Grade, obgleich nichts sich in den Verhältnissen des inneren Ohres geändert hat.

Ich habe versucht, ob man die Täuschung bei der Neigung zwischen 0 ° und 90 ° modifizieren könnte, indem man die Empfindungen der Fusssohlen fortschafft — aber ich bin zu keinem recht deutlichen Ergebnisse gelangt. Ich habe ohne Erfolg versucht, Unempfindlichkeit der Fusssohlen durch Kälte hervorzubringen; die Anwendung ist sehr schmerzhaft und die Empfindungslosigkeit verschwindet gar zu schnell. Uebrigens habe ich die Sache nicht beharrlich verfolgt, in der Ueberzeugung, dass die Empfindungen nicht ausschliesslich Hautempfindungen sind, dass sie zu tief liegen, um vollständig ausgeschlossen werden zu können.

Wenn man sich damit begnügt, die Füsse emporzuheben, so verschwinden natürlich die Empfindungen an den Fusssohlen und müssten uns die Täuschung von einer stärkeren Neigung nach hinten geben; aber zu gleicher Zeit nimmt die Empfindung des Herabgleitens zu und bestimmt uns, uns für stärker nach vorn geneigt zu halten, als wir es in Wirklichkeit sind. Diese beiden Empfindungen sind einander ohne Zweifel gleichwertig, indess ist die erstere der zweiten etwas überlegen, denn, wenn die Versuchsperson die Füsse aufhebt, so senkt sie, um die Horizontale anzugeben, ihren Stab ein wenig.

Ist der Kopf nach vorn oder hinten geneigt, so vermehrt oder vermindert sich die durch die Neigung des Körpers hervorgebrachte Täuschung. Dies liegt offenbar daran, dass der Körper sich ein wenig an dieser Drehung zu beteiligen scheint, wie wir in einem früheren Kapitel (pag. 22) auseinandergesetzt haben. Dies rührt auch zum Teil von der Veränderung des Blutandranges zum Kopfe und ohne Zweifel von der Wirkung der Schwere auf das Gehirn und die Flüssigkeiten des Labyrinthes her.

Wir fassen die vorstehenden Thatsachen in folgenden Satz zusammen:

15) Wenn bei der gewöhnlichen Stellung des Kopfes zum

Körper dieser verschiedene Neigungen in der Medianebene annimmt, so giebt es eine mittlere Lage in der Nähe von 60°, bei welcher man seine Orientierung ohne Fehler schätzt. Für weniger grosse Winkel glaubt man mehr nach vorn geneigt zu sein, als man es in Wirklichkeit ist. Für grössere Neigungen glaubt man im Gegenteil noch mehr nach hinten geneigt zu sein. Der Irrtum nimmt sehr schnell zu bei der Annäherung an die Horizontale und besonders darüber hinaus, so weit, dass die Versuchsperson bei einer Neigung von 120° sich für vertikal, den Kopf nach unten, hält.

Die Empfindungen des inneren Ohres sind diesen Täuschungen gänzlich fremd; die des Augenbewegungsapparates streben darnach, sie zum Teil zu berichtigen. Ihre wahre Ursache scheint eine allgemeine zu sein und ihren Sitz in den Muskel- und Hautempfindungen von dem auf die unterstützenden Oberflächen ausgeübten Drucke und in dem Bestreben der mit einer gewissen Beweglichkeit versehenen Eingeweide und der Flüssigkeiten des Organismus (die des Labyrinths mit inbegriffen) zu haben, sich nach den tiefer gelegenen Teilen zu begeben.

Bevor wir das Studium der dynamischen Empfindungen und Täuschungen beginnen, ist es wichtig, eine schon früher (pag. 16) gemachte Bemerkung zu wiederholen.

Die abnormen Stellungen des Kopfes werden, indem sie zu dynamischen Täuschungen Anlass geben, zu gleicher Zeit die statischen Täuschungen über die Richtung oder die Orientierung hervorrufen, welche wir studiert haben. Diese statischen Täuschungen, welche während der Bewegung wahrgenommen werden, ohne von ihr hervorgerufen zu sein, werden sorgfältig von denjenigen dynamischen Täuschungen unterschieden werden mussen, welche durch die Bewegung selbst hervorgebracht werden.

Die Bewegungen können von zweierlei Art sein: Drehung und Fortbewegung. Wir werden dem Studium einer jeden von beiden ein besonderes Kapitel widmen.

VI. Dynamische Empfindungen und Täuschungen bei Drehung.

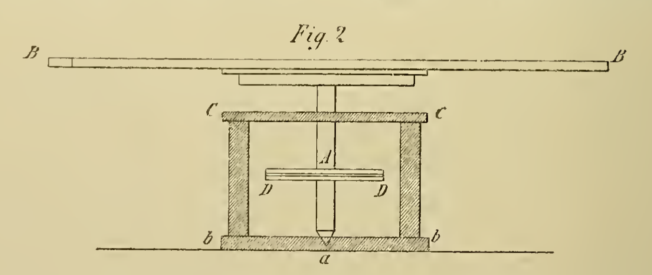
Die Drehbewegungen konnen um jede der drei Hauptachsen

des Körpers ausgeführt werden und ihre Wirkungen müssen gesondert in jedem der drei Fälle studiert werden.

a) Drehung um die vertikale Körperaxe.

Zum Studium dieser Erscheinungen steht oder sitzt vielmehr die Versuchsperson in einem gut geschlossenen hölzernen Kasten. Löcher gestatten der Luft den Durchgang, aber sie sind nur unterhalb des Sitzes und in der Rückwand eingebohrt, so dass der Zutritt des Lichtes und der Luftströmungen vermieden werden, deren Richtung der Versuchsperson etwaige Anhaltspunkte geben könnte. Zu grösserer Vorsicht werden die Augen geschlossen oder verbunden. Der Kasten hängt an einem ungefähr 6 m langen Seile. Durch Drehen des Kastens dreht man auch das Seil, welches, indem es sich wieder aufdreht, dem Kasten eine gleichmässige Drehung ohne Stösse erteilt, deren Geschwindigkeit nach Belieben abgestuft werden kann *).

*) Statt der schwierig anzubringenden Vorrichtung, welche Delage benutzt hat, bin ich zu dem einfachen Drehbrett zurückgekehrt, wie es beistehende Figur 2



genau auf 20 : 1 verkleinert, darstellt. Es kommt ja nur darauf an, dass das Brett, auf welchem die Versuchsperson sitzt, steht oder liegt, eine gleichmässige, völlig stossfreie Bewegung hat, dass es leicht und mit der beabsichtigten Geschwindigkeit bewegt, die Geschwindigkeit und Dauer der Bewegung beliebig modifiziert und genau bestimmt werden kann. Diesen Forderungen entspricht mein Drehbrett vollständig.

Das Drehbrett BB ruht auf einer stählernen Axe A, welche mit abgerundeter Spitze a in einer kleinen Vertiefung in einer eisernen Platte bb ruht, und durch ein eisernes Gestell bb cc (schräg schraffiert) mit drei Stützen hindurchgeht. An der Axe befindet sich das Triebrad DD mit Nute in der auf der Zeichnung genau angegebenen Höhe, um welches in der Nute eine Schnur läuft.

Sind alle Teile genau gearbeitet und befindet sich die Versuchsperson in einer

Die in dem Apparat befindliche Versuchsperson bemerkt die Drehbewegungen mit der äussersten Feinheit. Eine Drehbewegung von 2 Grad Winkelgeschwindigkeit in der Sekunde wird noch wahrgenommen, obgleich dieselbe von dem Auge, selbst an einem Umkreise von 50 cm im Durchmesser kaum empfunden werden kann *).

Lässt man sich mit gradem Kopfe und geschlossenen Augen

Gleichgewichtslage bezüglich der Axe des Apparates auf dem Brette, so rotiert dasselbe, wenn ein Mensch von 70 bis 100 Kilo darauf sitzt oder liegt, schon bei einem Gewichte von 3 Kilo, welches an dem um das Triebrad laufenden Faden zieht, mit einer Winkelgeschwindigkeit von 12° per 1 Sekunde — einer Geschwindigkeit, welche für die Versuche schon überreichlich ist.

Die Schnur lässt sich leicht mit einem Kymographion in Verbindung setzen, welches die Winkelgeschwindigkeiten genau registriert. — Zur Bestimmung der Geschwindigkeiten bei kürzerer Dauer der Rotation dient ein in Grade geteilter Kreis auf dem Fussboden, über welchem ein an dem Drehbrette befestigter Index hingleitet — eine Einrichtung, welche zugleich zur Kontrolle des Kymographionganges benutzt werden kann. — Zur Hervorbringung der Drehungen von bestimmter Winkelgeschwindigkeit dient eine mittelst eines Handgriffes drehbare Walze von 5 cm Durchmesser, welche durch eine Schnur mit dem Triebrade in Verbindung ist. Man kann mittelst dieser Vorrichtung Drehungen von 1/4° bis 30° Winkelgeschwindigkeit p. 1 Sekunde von beliebiger Dauer und vollkommen frei von Erschütterungen hervorbringen. Sämtliche Apparate sind von dem Kustos des hiesigen physiologischen Instituts H. Westien in geradezu vollendeter Weise angefertigt worden.

*) Eine Bewegungsempfindung tritt nach meinen Versuchen (die Bewegungsempfindung, Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 39, 1886 S. 347 und Bd. 40, 1887, S. 459 u. 623) schon bei sehr viel geringeren Winkelgeschwindigkeiten, nämlich etwa 2 Winkelminuten ein; aber die Verhältnisse waren dort so angeordnet, dass der Beobachter selbst unbewegt war und auf die bewegten Objekte blickte. Bei Ausschluss aller Gesichtsobjekte ausser dem bewegten, zeigte sich aber nach Charpentier's und meinen Beobachtungen, dass eine grosse Unsicherheit in der Wahrnehmung der Bewegung eintrat, indem subjektive »autokinetische« Empfindungen eine Bewegung des Objektes vortäuschen, ohne dass die geringste Bewegung desselben stattfindet. Mit einiger Sicherheit scheinen erst Bewegungen von etwa 30 Minuten unter diesen Umständen von dem unbewegten Beobachter empfunden zu werden. — Diese Bedingungen würden den hier vorliegenden vergleichbar sein; sitzt aber der Beobachter auf dem Drehbrette, so ist die Bewegungsempfindung noch viel unsicherer, als wenn der ruhende Beobachter bewegte Objekte betrachtet. — Nach meinen bisherigen Beobachtungen muss ich die obige Angabe Delage's als im Ganzen zutreffend ansehen, gedenke aber genauere Bestimmungen über die Grenze der Empfindung von Bewegung des eigenen Körpers später mitzuteilen.

in eine schnelle Drehung bringen und dieselbe plötzlich anhalten, so hat man die sehr deutliche Empfindung einer Drehung in entgegengesetztem Sinne. Mach hat schon diese Erscheinung angegeben.

Wir bemerken dazu, dass dieser Eindruck genau das Umgekehrte des Purkinje'schen Schwindels ist, bei welchem man nach dem Anhalten die Objekte in dem nämlichen Sinne, wie während der Bewegung sich drehen sieht. Wir werden später den Grund dieser Verschiedenheit angeben.

Wenn man, sobald diese Täuschung angefangen hat, sich zu entwickeln, die Augen öffnet, so hört sie sogleich auf, um wieder aufzutreten, sobald man die Augen aufs Neue schliesst. Man kann dies mit demselben Erfolge ungefähr 30 Sekunden lang wiederholen.

Anstatt die Augen zu schliessen, kann man sie vor einem Spiegel*), welchen man in der Hand hält, geöffnet lassen.

---

*) Der Versuch mit dem Spiegel hat mich zu einer überraschenden, sehr frappanten Beobachtung geführt:

Sitzt man auf dem Drehbrett und hält einen Spiegel senkrecht mit gestreckten Armen vor sich, so sieht man die gespiegelten Objekte im Zimmer sich gleichsinnig mit der Drehrichtung des Brettes bewegen; bringt man den Spiegel dicht vor das Gesicht, so tritt nach wenigen Sekunden die Empfindung mit unwiderstehlichem Zwange auf, dass man selbst in der der Rotation entgegengesetzten Richtung gedreht wird, und die gespiegelten Objekte im Zimmer ruhend erscheinen. — Sobald man den Spiegel wieder fern hält, schwindet die Täuschung augenblicklich und man sieht wieder die gespiegelten Objekte in Bewegung, während man selbst sich ruhend erscheint — bei Annäherung des Spiegels tritt wieder nach einigen Sekunden die Umkehrung ein, u. s. w. — Viele meiner Herrn Kollegen und Zuhörer haben sich von dieser Veränderung der Vorstellung überzeugt — bis jetzt ohne Ausnahme.

Zum Zustandekommen dieser spontanen Umkehr unserer Vorstellung scheint der Ausschluss von Objekten, welche ungespiegelt gesehen werden, den Anlass zu geben. Man muss nämlich einen Spiegel von einiger Grösse, etwa 25 bis 30 cm Breite und 20 cm Höhe anwenden, dessen obere und seitliche Ränder mit vorstehenden Pappstreifen versehen sind, durch welche die Objekte in der Umgebung des Spiegels verdeckt werden; ein kleiner Spiegel lässt die Umkehr der Vorstellung nicht zu Stande kommen. Den grösseren, mit Papprändern versehenen Spiegel braucht man übrigens nicht von dem Gesicht zu entfernen, um die Umkehr zur Bewegung der gespiegelten Gegenstände hervorzu-

Die Täuschung ist dann ebenso auffallend, als wenn die Augen geschlossen sind. Dies ist übrigens leicht begreiflich, denn für

rufen; man kann ihn zu diesem Zwecke nur ein wenig höher halten, so dass man ungespiegelte Objekte im Gesichtsfelde hat. — Es ist ferner keineswegs notwendig, sein eigenes gespiegeltes Gesicht oder einen Punkt desselben zu fixieren, man kann sogar auf seinen Körper oder auf das Drehbrett seinen Blick wenden, ohne dass die Täuschung, dass man sich in umgekehrter Richtung zu drehen glaubt, als man in Wirklichkeit rotiert, beeinträchtigt wird. Auch Konvergenzen oder Parallelstellung der Augenaxen sind ohne Einfluss auf die Täuschung.

Es ist ja leicht begreiflich, dass man in entgegengesetzter Richtung gedreht zu werden glaubt, als die gespiegelten Objekte, wenn man veranlasst ist, die Objekte für ruhend zu halten — aber es ist die Frage, durch welchen inneren Vorgang man zu dieser Umkehr der Vorstellung nach wenigen Sekunden gezwungen wird, ohne die Umkehr zu wollen. Die Beobachtung erinnert an die Erfahrung, dass man im Eisenbahnwagen sitzend die Empfindung hat, als ob sich der daneben stehende Zug in Bewegung setzte, während man selbst fortbewegt wird, oder umgekehrt, dass man selbst in Bewegung zu sein glaubt, während doch nur der daneben befindliche Zug sich fortbewegt, und man nur durch Beobachtung feststehender Objekte über die Täuschung ins Klare kommt. Bei diesen Erfahrungen im Eisenbahnwagen hat man aber bald die eine, bald die andere Vorstellung, und kann ziemlich nach Belieben die Vorstellung wechseln lassen. Bei dem Rotationsversuche tritt aber die Umkehr der Vorstellung sowohl bei ferner als bei näher gebrachtem Spiegel zwangsweise auf und kann vom Willen nicht verändert werden, trotzdem man die objektiven Verhältnisse kennt und sich möglichst lebhaft vergegenwärtigt.

Der Unterschied zwischen den Beobachtungen auf der Eisenbahn und dem Spiegelversuch auf der Drehscheibe ist nun der, dass bei Sichtbarkeit der nicht gespiegelten Objekte, diese in Bewegung und zwar in gleicher Richtung, sind, als die gespiegelten Objekte, bei Ausschluss der ersteren aber die gespiegelten Objekte allein bestimmend für die Auslegung der Bewegung sein können. Dass man alsdann die Bewegung auf den Körper bezieht und nicht auf die gespiegelten Objekte, könnte vielleicht in einer durch den Wegfall der nicht gespiegelten Gegenstände entwickelten Kontrastempfindung seinen Ursprung haben Augenbewegungen sind dabei nicht im Spiele — die Geschwindigkeit der Rotation ist gleichgültig, sie kann von einer Umdrehung in 20 bis zu 90 Sekunden variieren, kann sich auch während der Beobachtung ändern — die Kopf- und Körperstellung bleibt mit Ausnahme der Armbewegungen unverändert — kurz, es ändert sich scheinbar nichts, was uns zu einer Umkehr der Vorstellung veranlassen könnte.

Beim Uebergange von der dem eigenen Körper zugeschriebenen Bewegung zu derjenigen der Objekte tritt eine Desorientierung auf, in Folge deren man bei nicht gar zu langsamer Rotation Bewegungen zur Erhaltung des Körpergleichgewichtes macht, während im anderen Falle der Uebergang von keiner Schwindelempfindung begleitet ist.

Jemand, der sich dreht, ist sein Bild nicht ein fester Punkt, welcher als Zielpunkt dienen kann.

Indes wenn die Drehung schnell genug gewesen ist, so dauert der Eindruck bei geöffneten Augen fort, besonders wenn man den Himmel anstatt eines nahen Objektes fixiert. Ich habe dies beobachtet bei einer Drehung von 180 Grad in der Sekunde. Ich glaube, es würde einer viel grösseren Geschwindigkeit bedürfen, damit die Täuschung fortdauerte, wenn man einen offenbar unbeweglichen Zielpunkt betrachtete z. B. eine vor sich sitzende Person.

Bei dem Purkinje'schen Schwindel entsteht im Gegenteil diese Täuschung, dass sich die im Gesichtsfelde befindlichen Objekte drehen, leicht, aber man darf nicht vergessen, dass die Bedingungen nicht mehr dieselben sind, weil ja dabei die Bewegung eine aktive und stossweise ist.

Mach hat schon die Thatsache festgestellt, dass nach Verlauf einer gewissen Zeit die Empfindungen verschwinden, wenn die Bewegung gleichförmig ist. Er hat auch festgestellt, dass das Anhalten oder die Verlangsamung zu einer Drehempfindung von entgegengesetztem Sinne führen, und daraus geschlossen, dass nur die positiven und die negativen Beschleunigungen der Winkelgeschwindigkeit wahrgenommen würden.

Mach bemerkt selbst, dass diese Wirkungen nur dann auftreten, wenn die Drehung lange anhält. Wir müssen auf diesen Punkt Wert legen und bemerken, dass sein »Gesetz der Beschleunigungen« keine Anwendung findet auf Drehungen von kurzer Dauer, die einzigen, welche wir im gewöhnlichen Leben ausführen [1]). Unter den gewöhnlichen Bedingungen empfinden wir nicht allein die Winkelbeschleunigungen, sondern auch die Winkelgeschwindigkeiten und sogar die Grösse der durchlaufenen Winkel. Wir haben vollständige Kenntnis von der Bewegung mit allen ihren Qualitäten der Grösse, der Geschwindigkeit und der Dauer.

Der strenge Nachweis lässt sich nicht leicht ohne Hilfe

1) Selbst der Walzer ist nur eine Reihenfolge von häufigen aber kurzen Drehungen.

eines genauen Instrumentes führen, mittelst dessen wir uns eine gleichförmige Drehung erteilen können, aber man kann auf einem Umwege dahin gelangen.

Begeben wir uns auf eine Drehscheibe oder auf das Zapfenbrett, welches pag. 41 beschrieben wurde, und lassen uns von einem Gehilfen eine Drehbewegung von weniger als 180 Grad und so gleichmässig wie möglich erteilen. Sicherlich wird eine absolute Gleichmässigkeit nicht erreicht werden, aber die Beschleunigung wird schwach, veränderlich und von entgegengesetztem Vorzeichen in den verschiedenen Versuchen sein. Wenn wir nur die Beschleunigung allein empfinden, so muss der Eindruck schwach, veränderlich und bisweilen in verschiedenem Sinne sein. Aber das tritt niemals ein. Mag die durch den Gehilfen erteilte Bewegung nahezu gleichförmig oder deutlich beschleunigt, bezw. verlangsamt sein, man empfindet immer die gesamte Drehung, so wie sie ist, mit ihren verschiedenen Qualitäten der Dauer, der Geschwindigkeit und des Umfanges. Dies scheint mir genügend den ausgesprochenen Satz zu beweisen; und wirklich ist der Nachweis fast unnötig, so überzeugend ist die alltägliche Erfahrung in dieser Hinsicht.

Dies gilt ausserdem für die Drehung um die übrigen Axen des Körpers. — Wir drücken daher das Gesetz von Mach in folgender Weise aus:

16) Fortdauernde Drehbewegungen hören bald auf, wahrgenommen zu werden, solange sie gleichförmig sind, und man empfindet dann nur die positiven und negativen Beschleunigungen der Winkelgeschwindigkeit unter der Form einer Drehung in demselben Sinne für den ersten, im umgekehrten Sinne für den zweiten Fall. Das Anhalten, gleichwertig einer plötzlichen heftigen negativen Beschleunigung ruft eine sehr deutliche Empfindung einer Drehung in entgegengesetztem Sinne hervor. Aber bei kurzen und nicht stetigen Drehbewegungen, den einzigen, welche uns im gewöhnlichen Leben vorkommen, wird die Bewegung vollständig mit allen ihren Qualitäten der Geschwindigkeit, Dauer und Grösse wahrgenommen und das Anhalten ruft keine Empfindung von Drehung in entgegengesetztem Sinne hervor.

Gehen wir nun zum Studium der Täuschungen über, welche den Hauptgegenstand dieser Arbeit bilden.

Wenn der Kopf durch Drehung um seine sagittale Axe auf die rechte Schulter geneigt ist, so erscheint die Drehungsaxe nicht mehr vertikal, sie scheint um etwa 25⁰ nach links geneigt. — Liegt der Kopf auf der linken Schulter, so scheint die Axe schief nach rechts zu liegen.

Ist der Kopf auf die Brust gebeugt, so scheint sie um ungefähr 30⁰ nach hinten, ist er nach hinten zurückgebeugt, so scheint sie um ungefähr 40⁰ nach vorn geneigt.

Unter allen diesen Bedingungen scheint der Körper natürlich um diese schiefe Axe einen mehr oder weniger offenen Kegel zu beschreiben, dessen Spitze sich im Kopfe befindet, an dem Punkte, wo die wahre Axe von der scheinbaren Axe geschnitten wird.

Diese Täuschungen werden leicht empfunden, aber sie lassen sich schwer des Genaueren bestimmen, weil sie nur kurze Zeit währen, indem unsere Empfindung von der Bewegung verschwindet oder sich sehr abschwächt, wenn die Bewegung gleichförmig oder wenig verändert ist.

Um sie sich leichter zu verschaffen, kann man während einer Drehung in der angegebenen Stellung sich plötzlich anhalten lassen. Die Empfindungen sind dann stärker, denn dies ist einer plötzlichen sehr grossen negativen Beschleunigung gleichwertig. Aber man muss natürlich berücksichtigen, dass die Drehung sich umzukehren scheint.

Man kann ferner sich in schnelle Drehung versetzen lassen, während man den Kopf gerade hält und dann plötzlich den Kopf neigen *). Die Lageveränderung der Drehungsaxe wird

*) Bei dieser Form des Versuches ist mir besonders auffallend gewesen, dass, wenn bei fortdauernder gleichmässiger Rotation die Empfindung der Bewegung völlig aufgehört hat, eine Neigung des Kopfes sofort sehr lebhaft die Empfindung, dass man rotiert, hervorruft und ebenso, wenn man den geneigt gehaltenen Kopf wieder gerade richtet. Man empfindet in diesem Momente der Veränderung der Kopfstellung ganz deutlich und richtig sowohl die Richtung als auch die Geschwindigkeit der Rotation.

Mir scheint diese Bemerkung, welche schon Mach (Grundlinien zur Lehre von den Bewegungsempfindungen S. 29) gemacht hat, für die Hypothese von der Rolle

dann sehr scharf empfunden, aber der Versuch ist sehr unangenehm für die Versuchsperson.

Man kann die vorstehenden Thatsachen so formulieren:

17) *Bei Drehbewegung um die vertikale Körperaxe scheint, wenn der Kopf um eine seiner horizontalen Axen geneigt ist, die Drehungsaxe um dieselbe Axe wie der Kopf und zwar in entgegengesetztem Sinne geneigt zu sein. Der Körper scheint um diese schiefe Axe einen Kegel zu beschreiben, dessen Öffnung verschieden ist gemäss dem Sinne, in welchem der Kopf seine Stellung verändert hat.*

Ich brauche wohl nicht zu erwähnen, dass die Lageveränderung des Kopfes um die Bewegungsaxe keine Täuschung herbeiführt. Man könnte höchstens glauben, dass man um einige Grade mehr oder weniger sich auf der durchlaufenen Kreisbahn vorwärts bewegt hat, doch ist diese Differenz nicht von Bedeutung.

Wenn man während der Bewegung die Stellung des Kopfes verändert, so tritt urplötzlich die der neuen Kopflage zugehörige Täuschung an Stelle der vorhergehenden; auch glaubt man sich, wenn die Drehung schnell und die Veränderung der Kopfstellung plötzlich und häufig ist, in die einander folgenden sehr heftigen Drehungen um wechselnde Axen mit hineinversetzt und es erfolgen bald Schwindel, Eckel und ein unaussprechliches Uebelbefinden. Dies ist eine der unangenehmsten Empfindungen, welche man haben kann, und es bedarf eines förmlichen Mutes, um sich ihnen von Neuem auszusetzen, wenn man sie ein Mal kennen gelernt hat *).

der halbzirkelförmigen Kanäle recht wichtig zu sein: denn wenn durch die Fortdauer einer gleichmässigen Bewegung eine Abstumpfung der Empfindungen jener Organe eingetreten ist infolge des gleichmässigen Druckes, so werden durch die Veränderung der Kopfstellung die Drücke in jenen Organen verändert werden müssen, welche frische Teile derselben affizieren und zunächst die Empfindung, dass eine Rotation überhaupt stattfindet, wachrufen. — Mit dieser Empfindung assoziert sich immer, auch bei ganz langsamer Rotation das Schwindelgefühl.

*) Die unangenehmen Empfindungen bei Rotationsbewegungen treten fast nur bei sehr schnellen Drehungen auf und bleiben auch bei sehr empfindlichen Personen aus, wenn die Rotation sehr langsam ist. Die Schwindelgefühle pflegen die Selbstbeobachtung sehr zu beeinträchtigen, wenn sie mit Lebhaftigkeit auftreten und es

Öffnet man plötzlich die Augen, so ist der Gesichtseindruck nicht mächtig genug, um die Täuschung zu zerstören, und man glaubt einen Kegel zu beschreiben, obgleich die Gesichtsempfindungen das Gegenteil aussagen.

b) Drehung um die Queraxe des Körpers.

Zum Studium dieser Empfindungen habe ich mich des pag. 41 beschriebenen Zapfenbrettes bedient.

Die Versuchsperson streckt sich mit verbundenen Augen auf dem Apparate aus und lässt sich eine mässige Neigung von etwa 35^0 bis 40^0 zur Vertikalen geben, dann eine mehr oder weniger oscillierende Bewegung um diese mittlere Lage erteilen.

Wenn der Kopf seine normale Stellung hat, so werden die Bewegungen ohne Fehler empfunden. Die Versuchsperson fühlt, dass sie vollkommen in der Medianebene ihres Körpers oscilliert. Wenn die mittlere Stellung der Horizontalen näher ist, als wir angenommen haben, so glaubt sie, vermöge der statischen Täuschung, mehr nach hinten geneigt zu sein, als sie es in Wirklichkeit ist, aber die Oscillationsebene scheint nicht verändert zu sein.

Wenn das Gesicht nach rechts gewendet wird, so scheint unmittelbar die Drehungsaxe im umgekehrten Sinne nach links hin um wenigstens 45^0 verlegt, ohne dass sie aufhört horizontal

---

kann dahin kommen, dass, wie Budde (Ueber metakinetische Scheinbewegungen u. s. f. Arch. f. (Anat.) und Physiol. 1884 S. 131) treffend sagt, »das Versuchsergebnis nicht eine Beobachtung ist, sondern ein Schwindel, welcher bald zu völliger Unfähigkeit des Beobachters führt.« Bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 12^0 in 1' Sek., entsprechend einer ganzen Umdrehung in 30 Sek., sind die Empfindungen, welche man bei Neigung und Beugung des Kopfes hat, derart, dass man die Störung des Körpergleichgewichtes als Schwindel fühlt und unwillkürlich Gegenbewegungen zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes macht, namentlich im Anfange der Versuche, indess tritt, besonders nach öfterer Wiederholung der Versuche das Gefühl des Unangenehmen so zurück, dass es die Konzentrierung der Anfmerksamkeit nicht beeinträchtigt. Ich empfehle daher, die Rotationen anfangs ganz langsam zu wählen und nur bis zu dem Grade an Geschwindigkeit zunehmen zu lassen, welcher für die Auslösung der Empfindung von der veränderten Körperlage erforderlich ist — was darüber ist, das bringt meiner Erfahrung nach keinen Vorteil für die Beobachtung, sondern schädigt dieselbe.

zu sein. Die Oscillationen scheinen in einer vertikalen Ebene stattzufinden, welche mit der Medianebene einen Winkel von 45° bildet, welcher nach links und vorn offen ist. — Wird der Kopf nach links gewendet, so entsteht eine ähnliche Täuschung, aber im umgekehrten Sinne.

Neigt man den Kopf nach der einen oder andern Schulter durch Drehung um die sagittale Axe, so scheint die Oscillationsaxe sich um etwa 25° in entgegengesetztem Sinne wie der Kopf und in derselben Ebene wie dieser zu drehen. Sie ist also nicht mehr horizontal, ohne die frontale Ebene zu verlassen, und wird schief von rechts nach links und von oben nach unten, wenn der Kopf nach rechts geneigt ist, — von links nach rechts und von oben nach unten, wenn der Kopf nach links geneigt ist. Der Körper scheint um diese schiefe Axe einen doppelten Kegel von etwa 50° zu beschreiben. Die beiden Kegel stehen mit ihren Spitzen gegeneinander und diese letzteren befinden sich in dem Punkte, wo die wirkliche Axe von der scheinbaren geschnitten wird. Der Körper scheint nur in dem Augenblicke vertikal zu sein, wo er in die sagittale Ebene übergeht.

18) Wenn bei der Drehung um die Queraxe des Körpers sich der Kopf um seine vertikale oder sagittale Axe dreht, so sind die Eindrücke dieselben, als wenn die Drehungsaxe sich um dieselbe Axe wie der Kopf, und in umgekehrtem Sinne um 25° bis 45° je nach dem Sinne der Stellungsveränderung des Kopfes gedreht hätte.

Es braucht kaum bemerkt zu werden, dass, wenn der Kopf zugleich um seine beiden Axen sich gedreht hat, die Täuschung die Resultierende derjenigen ist, welche die beiden Drehungen, jede für sich, hervorgebracht haben würden. Dies ist gleichwertig einer Drehung des Kopfes um eine intermediäre Axe, und die allgemeine Regel bleibt anwendbar.

Mein Apparat eignete sich nicht zum Studium einer vollständigen Drehung, aber es scheint ziemlich sicher, dass die bei einem Bogen von etwa 150° beobachtete Täuschung während einer ganzen Umdrehung ebenso sein würde.

c) Drehung um die sagittale Axe des Körpers.

Zum Studium dieser Bewegung kann die Versuchsperson

sich auf das Zapfenbrett des vorhergehenden Versuches legen; sie muss sich dann auf die Seite legen. Aber es ist einfacher, sich auf ein horizontales Brett zu legen, welches sich um eine vertikale Axe dreht. Da die Täuschungen bei der horizontalen und vertikalen Lage die nämlichen sind, so hat es keine Schwierigkeit, sie in der ersteren Lage zu studieren. — Die normalen Empfindungen bieten nichts unerwartetes dar. Um die Empfindung einer Drehung in der horizontalen Ebene zu bekommen, muss der Körper ein wenig nach vorwärts erhoben sein, denn wir haben gesehen, dass in horizontaler Lage der Körper um etwa 10^0 nach hinten geneigt zu sein scheint.

Die abnormen Stellungen des Kopfes führen alle die Täuschungen herbei, an welche wir gewöhnt sind. Die Drehungsaxe scheint in derselben Ebene wie der Kopf geneigt zu sein, aber in umgekehrtem Sinne.

Wenn man das Gesicht nach rechts wendet, so scheint es, als drehe man sich um eine Axe, welche mit der Vertikalen einen nach oben und links offenen Winkel bildet. — Für die Wendung nach links ist es umgekehrt.

Wird der Kopf nach vorn gebeugt, so geht die Axe scharf nach hinten, beugt er sich nach hinten, so scheint die Axe sich nach vorn zu neigen. Wie die Bewegung des Kopfes in diesem Sinne sehr umfänglich ist, so ist auch die Ablenkung der Axe sehr beträchtlich; liegt man dann wirklich horizontal, so gesellt sich die statische Täuschung über die Orientierung, welche gleichsinnig ist, zu der dynamischen Täuschung und die Gesamtwirkung ist so beträchtlich, dass man fast vertikal an den Füssen zu hängen glaubt. — In allen diesen Fällen glaubt man einen Kegel um die abgelenkte Axe zu beschreiben.

Die Neigungen des Kopfes nach der einen oder andern Schulter sind natürlich wirkungslos, weil diese Bewegung um eine der Drehungsaxe parallele Axe stattfindet.

Man kann die vorstehenden Thatsachen dahin zusammenfassen:

19) Wenn bei der Drehung des Körpers um die sagittale Axe der Kopf sich um seine vertikale oder quere[1]) *Axe gedreht*

---

1) Wir sprechen, wohl zu verstehen, von morphologischen Axen des Kopfes

hat, so werden die Eindrücke die nämlichen, als wenn sich die Drehungsaxe um dieselbe Axe wie der Kopf gedreht hätte, aber umgekehrt wie dieser.

Bei allen diesen Täuschungen wird die scheinbare Veränderung der Lage der Drehungsaxe nicht allein bezüglich der Richtung, sondern auch bezüglich des Umfanges durch diejenige des Kopfes bestimmt. Sie beträgt regelmässig etwa 15° weniger als die letztere.

So ist bei der Drehung um eine vertikale Axe der ganze Winkel des Kegels 50°, wenn der Kopf nach der einen oder andern Schulter geneigt, 60°, wenn er nach der Brust gebeugt, 80°, wenn er nach hinten zurückgebeugt ist. Dies entspricht Ablenkungen der Axe um bezw. 25°, 30° und 40°. Die stärkste Neigung des Kopfes beträgt ungefähr 35° bis 40° in der ersten Stellung — 40° bis 45° in der zweiten, und wenigstens 55° in der dritten. Aber diese Winkel sind alle um 15° kleiner, als die Ablenkung der entsprechenden Axe, $40^{0}-15^{0}=25^{0}$; $45^{0}-15^{0}=30^{0}$; $55^{0}-15^{0}=40^{0}$.

Desgleichen erreicht bei der Bewegung um die Queraxe des Körpers die Drehung des Kopfes nach rechts oder nach links wenigstens 60°, und die Ablenkung der Axe 45°, also $60^{0}-15^{0}=45^{0}$. Doch müssen wir gleich bemerken, dass man von diesen Wertangaben keine strenge Genauigkeit fordern darf, was ihre ganze Natur nicht gestattet*).

und Körpers. So ist z. B. bei dieser horizontalen Lage die sagittale Axe vertikal, die vertikale Axe horizontal und so fort. Diese Bemerkung gilt für alle übrigen Fälle.

*) Es ist mir nicht möglich gewesen, zu so exakten Empfindungen über die Abweichungen der Axen zu gelangen, wie Delage sie angibt. Vielleicht ist meine Empfindlichkeit überhaupt geringer (ich werde auch bei grossen Wellen nicht seekrank) — vielleicht ist auch der Umstand störend, dass ich die Versuche mit wechselnder Kopfstellung nicht oft hintereinander wiederholen kann, ohne in Verwirrung über die jedesmalige Abweichung der Axen zu geraten. Wenn ich z. B. einen leichten Stab in beide Hände nehme, um die Lage der horizontalen Rotationsebene anzugeben, so sind nur in den ersten Versuchen die Lagen des Stabes in ungefährer Uebereinstimmung mit Delage's Angaben; bald aber hört die Orientierung über die Abweichung der Drehungsebene auf: ich merke, dass eine Umlagerung stattfindet, aber ich kann sie weder mit Worten bezeichnen, noch mittelst des Stabes markieren. Ich will damit keinen Zweifel an Delage's Bestimmungen aussprechen,

Dieses merkwürdige Verhältnis lässt sich übrigens leicht nachweisen auf dem Zapfenbrett bei der Drehung um die Queraxe des Körpers, denn bei der wechselnden Bewegung der Oscillation lässt sich die Empfindung beliebig lange in Fortdauer erhalten, und man hat volle Zeit, seine Schätzungen sorgfältig zu machen. — Wir werden später die Ursache dieses Verhältnisses auseinandersetzen.

Es genügt, die Sätze (17), (18) und (19) mit einander zu vergleichen, um festzustellen, dass die Täuschungen für die drei Hauptaxen der Drehung die nämlichen sind. Sie sind ausserdem die nämlichen für die intermediären Axen, so dass man die drei vorhergehenden Regeln in eine einzige allgemeinere zusammenfassen kann, welche alle durch Drehung entstehenden Täuschungen bestimmt.

20) *Wenn, während der Körper in einer Drehbewegung um eine beliebige Axe begriffen ist, der Kopf eine neue Stellung in bezug auf irgend eine seiner Axen annimmt, so erzeugt diese abnorme Stellung eine Täuschung der Art, dass die empfundenen Eindrücke ebendieselben sind, als wenn die Drehungsaxe, indem sie sich im umgekehrten Sinne wie der Kopf und um dieselbe Axe wie dieser dreht, um einen Winkel abgewichen wäre, welcher etwa 15° weniger beträgt als ihre Winkelverschiebung.*

Man muss wohl verstehen, dass in allen diesen Fällen die Täuschung durch die neue Stellung des Kopfes verursacht worden ist, und nicht durch seine Bewegung behufs Annahme dieser Stellung. Die Täuschung wird in der That ebenso gut empfunden, wenn der Kopf seine abnorme Stellung annimmt, bevor die Drehbewegung begonnen hat.

VII. Sitz der Empfindungen und Ursache der dynamischen Täuschungen bei Drehung.

Der erste aus den vorstehenden Untersuchungen zu ziehende Schluss ist der, dass die Empfindungen der Drehung ihren Sitz im Kopfe haben. Man könnte es sonst nicht verstehen, dass die Veränderung der Kopfstellung zu so beträchtlichen Täu-

glaube aber auch meine Unsicherheit über die von mir beobachteten Empfindungen nicht verschweigen zu dürfen.

schungen Anlass geben könnte, wenn der Sitz dieser Empfindungen in der Brust oder selbst im ganzen Körper, den Kopf mit inbegriffen, wäre. Es ist unbedingt notwendig, dass der Kopf »der besondere Sitz« dieser Empfindungen ist.

Mach war schon zu einem ähnlichen Schlusse gelangt, indem er feststellte, dass während der Drehung des Körpers die Bewegungen des Kopfes die Empfindung einer neuen Beschleunigung gäben.

Es handelt sich jetzt darum, ihren Sitz genau zu bestimmen. Auf den ersten Blick scheint es, als könnten die Empfindungen und Täuschungen bei der Drehung auf dieselbe Art erklärt werden, wie die statischen Erscheinungen gleicher Ordnung. Man könnte z. B. denken, dass wenn unser Körper in eine Drehbewegung versetzt worden ist, unsere Augäpfel durch die langsame Zusammenziehung ihrer Muskeln anfangs zurückbleiben, dann durch eine rasche Zusammenziehung ihre Normalstellung zum Kopfe wiedererlangen, und dass diese Zusammenziehung zugleich die Empfindung von der ausgeführten Bewegung und das Mass des zurückgelegten Winkels gäbe.

Man könnte auch denken, dass die empfundenen Täuschungen einfach statische Täuschungen wären, hervorgerufen durch ebendenselben Bewegungsapparat des Auges, und sich während der Drehbewegung ebensogut wie im Zustande der Ruhe zeigten.

Aber es ist leicht einzusehen, dass diese Erklärungen unzureichend oder ungenau sein würden.

Es ist in der That möglich, dass wir durch die Zusammenziehung unserer augenbewegenden Muskeln die von unserem Kopfe bei den schwachen Drehbewegungen, welche er in jedem Augenblicke ausführt, zurückgelegten Winkel messen könnten. Aber es gibt sicherlich noch etwas anderes in den wahrgenommenen Eindrücken, besonders bei den fortgesetzten Drehungen und wenn unsere Augen geschlossen sind. Ich sehe in der That kein Mittel, durch das, was ich »die Augentheorie« nennen werde, die Thatsache zu erklären, dass wir bei einer fortgesetzten Drehbewegung nicht die gleichförmigen Bewegungen empfinden; noch die Thatsache, dass wir nach dem Anhalten einer lebhaften Bewegung eine lange Zeit hindurch die Empfindung einer Bewegung in umgekehrtem Sinne haben.

Was die zweite Erklärung betrifft, so würden die statischen Täuschungen wegen der einen einzigen Thatsache, dass sie nicht von gleichem Werte sind, zur Erklärung der dynamischen Täuschungen nicht hinreichen. Aber das ist noch nicht alles: eine kurze Ueberlegung genügt, um zu erkennen, dass die statischen Täuschungen trotz der Aehnlichkeit der Formeln, durch welche ich sie ausgedrückt habe, den dynamischen Täuschungen ihrem Vorzeichen nach gerade entgegengesetzt sind.

Betrachten wir z. B. den Fall einer oscillierenden Bewegung um die Queraxe des Körpers auf dem Zapfenbrette. Wenn wir den Kopf nach rechts wenden, bevor die Bewegung anfängt, so scheint sich der äussere Raum in entgegengesetztem Sinne zu drehen und nach links hin zu streben (Formel (1)). Aber die Drehungsaxe »welche dem Körper angehört« scheint sich im Gegenteil in demselben Sinne zu drehen, wie der Kopf (Formel (2)). Auch würden uns, wenn es keine dynamischen Täuschungen gäbe, die statischen Täuschungen glauben machen, dass wir in einer Ebene oscillieren, welche mit der Medianebene einen nach vorn und rechts offenen Winkel bildet, während gerade das Umgekehrte stattfindet.

Die Sache ist leicht zu verstehen: In der angegebenen Stellung (Wendung der Versuchsperson nach rechts) weicht ein Stab, welchen wir in der Medianebene zu halten glauben, in Wirklichkeit etwas nach links ab. Eine nach links abweichende Linie scheint uns also sagittal, folglich wird uns eine wirklich sagittale Linie nach rechts abgelenkt erscheinen. Ebenso wird uns eine sagittale Bewegung gleicherweise schief nach rechts hin gerichtet erscheinen. Ich habe von allen diesen Behauptungen experimentelle Beweise gegeben (siehe S. 18). Kurz, ich wiederhole es: gerade das Gegenteil findet statt.

Ich habe einen Versuch gemacht, welcher ausdrücklich die Richtigkeit der vorstehenden theoretischen Folgerungen beweist: Man streckt sich auf dem Zapfenbrette aus und richtet, ohne den Kopf zu drehen, den Blick bei geschlossenen Augen stark nach rechts. Wir wissen, dass in diesem Falle die statische Täuschung dieselbe ist, als wenn wir den Kopf selbst nach dieser Seite gewendet hätten. Lässt man sich dann schaukeln,

so scheint die mediane Ebene der Schaukelbewegung vorn nach rechts abgelenkt zu sein. Wendet man dagegen den Kopf nach rechts, so scheint sie nach links hin abgelenkt und zwar um eine viel bedeutendere Grösse.

Dieser leicht zu wiederholende Versuch beweist zugleich:

21) Dass die statischen Täuschungen ganz abhängig sind von dem Muskelapparate des Auges.

22) Dass die statischen Täuschungen sich offenbaren, ohne bei Drehbewegungen Veränderungen zu erleiden.

23) Dass die dynamischen Täuschungen gänzlich von den statischen Täushungen verschieden sind, indem sie stärker und von entgegengesetztem Vorzeichen sind, und dass sie, weit davon entfernt, durch diese letzteren erklärt werden zu können, im Gegenteil durch sie zum Teil korrigiert werden.

Die Ursache der dynamischen Empfindungen und Täuschungen bei der Drehung scheint mir in den halbzirkelförmigen Kanälen und in ihrer gemeinsamen Kreuzungsstelle, dem Utriculus gesucht werden zu müssen. — Ebensowenig wie Mach und die Anderen bin ich im Stande dies ausdrücklich beweisen zu können; aber ich glaube für die Beurteilung der Täuschungen einige neue Gründe beibringen zu können, um es wenigstens sehr wahrscheinlich zu machen.

Wir haben soeben gesehen, dass man ausschliesslich im Kopfe den Sitz der beobachteten Erscheinungen zu suchen hat. Aber welches ist im Kopfe, da man das Auge ausschliessen muss, das Organ, welches seinem anatomischen Baue nach von diesen Erscheinungen Rechenschaft geben kann?

Zwei Hypothesen sind möglich: die erste nimmt als Ursache die Gehirnsubstanz und die subarachnoidale Flüssigkeit an; die zweite die halbzirkelförmigen Kanäle und die Endolymphe.

Nach Purkinje verhält sich bei Drehungen des Körpers das Gehirn wegen seiner Weichheit beinahe wie eine Flüssigkeit und bleibt zurück. Es bildet sich eine Art von Schwankung seiner Teile in entgegengesetztem Sinne der Bewegung aus, woraus ein Unbehagen hervorgeht, welches wir dadurch zum Verschwinden zu bringen suchen, dass wir uns im entgegenge-

setzten Sinne drehen um das normale Gleichgewicht im Gehirn wieder herzustellen. — Purkinje geht nicht so weit zu sagen, dass die Verdrehung des Gehirns uns die Empfindung einer Drehung im entgegengesetzten Sinne gibt, aber seine Theorie fordert diese Annahme; denn wie sollten wir daran denken, uns zu drehen, um dieses Unbehagen zu beseitigen, wenn wir nicht fühlten, dass es von einer Drehempfindung herrührt? — Es muss also, wenn die Theorie von Purkinje wahr sein soll, die mechanische Erregung des Gehirns uns besondere Empfindungen übermitteln, welche wir objektivieren können. Wäre dies richtig, so würde dem nichts entgegenstehen, dass man das Gehirn als das Organ der normalen Drehempfindung ansähe. Aber diese Annahme scheint mir unzulässig. Die Verdrehung des Gehirns, die zentrifugale Bewegung seiner peripherischen Teile könnten die Betäubung, vielleicht selbst das Uebelbefinden beim Purkinje'schen Schwindel erklären, aber nicht die sehr bestimmte, sehr ruhige, nicht verwirrende Empfindung von Drehung in entgegengesetztem Sinne nach dem Anhalten einer passiven Bewegung, wenn die Augen geschlossen sind.

Es würde nichts helfen, wollte man die sehr beschränkten Bewegungen der subarachnoidalen Flüssigkeit, oder, wie es Hitzig und Wundt gethan haben, die Drehung des Kleinhirnes zu Hilfe rufen. Das Gehirn empfängt die Erregungen der Nerven und setzt sie in Empfindungen um, aber es ist nicht fähig, eine mechanische Erregung in bestimmte Empfindung umzusetzen. Es würde dies ebenso wenig thun können, als es, nach dem sehr passenden Vergleiche von Mach ein Objekt sehen könnte, dessen Bild mittelst einer Linse auf seine Oberfläche projiziert würde.

Ich würde allenfalls zugeben, dass die Verdrehung des Gehirns eine unbestimmte Empfindung hervorrufen könnte, welche wir durch Gewöhnung mit einer Drehbewegung in Verbindung zu bringen gelernt haben; aber ich kann nicht verstehen, wie diese Empfindung ohne Vermittelung eines peripherischen Organes zugleich verschiedenartig, genau und abgestuft sein kann, da sie uns gestattet, die kurzen Drehbewegungen mit allen ihren

Charakteren der Richtung, der Geschwindigkeit und Dauer zu erkennen.

Es ist durchaus notwendig, als Zwischenglied ein peripherisches Sinnesorgan zu Hilfe zu nehmen. Nun ist aber der Utrikulus mit den halbzirkelförmigen Kanälen das einzige, welches vermöge seiner anatomischen Bildung den beobachteten Erscheinungen Rechnung tragen könnte *). — Die Erklärung würde sogar sehr leicht sein, wenn die Enge der Kanäle nicht den Bewegungen der Endolymphe entgegenstünde.

Um mich zu überzeugen, habe ich einen kleinen Apparat von geblasenem Glase konstruieren lassen, welcher in grösseren Dimensionen die Form des Utrikulus und des einen der Kanäle darstellt; die Bewegungen der die Endolymphe repräsentierenden Flüssigkeit waren sichtbar gemacht durch darin suspendierte Staubpartikelchen. Dieser Apparat hat übrigens nur die Erscheinungen deutlicher sichtbar gemacht, welche leicht zu vermuten waren. Wenn man ihm eine kurze Drehbewegung erteilt, so teilt sich diese Bewegung, wenn sie plötzlich war, nur sehr wenig der darin enthaltenen Flüssigkeit mit und es findet während ihrer ganzen Dauer eine Reibung der Flüssigkeit an der Wand statt. Nach dem Anhalten bewegt sich die Flüssigkeit, welche nur wenig mitgerissen worden war, in dem Sinne der primären Drehung; aber die Bewegung ist so schwach, dass sie sich nur auf die zentralen Partikelchen fortpflanzt; diejenigen, welche in der Nähe der Wand liegen, bleiben fast unbewegt. — Im Gegenteil reisst eine Drehbewegung, wenn sie langsam war, zuletzt die Flüssigkeit vollständig mit sich, und

*) Die grosse Konstanz der Anordnung der Bogengänge durch die ganze Reihe der Wirbeltiere, mit Ausnahme der Cyklostomen und Petromyzonten, wie sie namentlich aus dem Prachtwerke von Retzius (Das Gehörorgan der Wirbeltiere. Stockholm. Folio. Bd. I, 1881, Bd. II, 1884) sich ergibt, dürfte auch für die Annahme sprechen, dass dieselben irgend eine Beziehung zu den drei Dimensionen des Raumes oder des Körpers haben. Bei den Petromyzon-Arten finden sich nur zwei Bogengänge und diese scheinen nach den Versuchen von von Cyon (Gesammelte Arbeiten S. 827) an den Neunaugen darauf hinzuweisen, dass das entsprechende Organ bei seiner für das Horen sehr ungünstigen Lage und bei der höchst wahrscheinlichen Taubheit der Neunaugen nichts mit der Funktion des Horens zu thun hat, wohl aber als Organ zur Erhaltung des Korpergleichgewichtes und der dazu dienenden Bewegungsimpulse angesehen werden muss.

nach dem Anhalten entsteht eine sehr lebhafte und andauernde Zirkulation im Sinne der vorherigen Bewegung.

Dies würde uns erklären: warum wir ganz vollständig die kleinen Drehbewegungen empfinden; warum die Empfindung einer umgekehrten Drehung nicht entsteht infolge kurzer Drehungen und sich so intensiv zeigt infolge andauernder Drehungen; endlich würde dies Rechenschaft geben von dem Mach'schen Gesetze über die Nichtempfindung gleichförmiger Bewegungen und über die Empfindung der Winkelbeschleunigungen bei andauernden Drehungen.

Aber diese Zirkulation der Endolymphe, welche von Crum Brown und von Breuer in seiner ersten Arbeit angenommen wurde, ist von den meisten Autoren für unmöglich erklärt worden, in Rücksicht auf die Enge der Kanäle.

Mach hat einen Apparat aus Glas anfertigen lassen, welcher hinsichtlich der Form und der Grösse einem halbzirkelförmigen Kanale ähnlich ist, und hat festgestellt, dass Wasser keine von der Wand unabhängige Bewegung darin annimmt. Dies ist wohl kein genügender Beweis, denn man muss auf die Beschaffenheit der Teile Rücksicht nehmen. Die Dinge gehen im Organismus nicht so vor sich, wie in den Apparaten des Laboratoriums. Selbst die mechanischen Bedingungen sind weniger einfach. Wenn man einen Apparat von Glas, welcher die Form und die Grösse der Blutgefässverästelungen nachahmt, konstruierte, so glaube ich nicht, dass eine der des Ventrikels nur gleiche, und, wie jene intermittierende Kraft imstande sein würde, auch nur Wasser in demselben zirkulieren zu lassen.

Nichtsdestoweniger hat der Einwand eine grosse Bedeutung und man muss zugestehen, dass die Bewegungen der Endolymphe wirklich verhindert zu sein scheinen. Es wird dann viel schwieriger, die beobachteten Erscheinungen den halbzirkelförmigen Kanälen zuzuschreiben.

Um dahin zu gelangen, nimmt Mach an, dass die Bewegungen der Endolymphe durch die in gleichem Sinne ausgeübten Drücke derselben ersetzt werden können.

von Cyon hat diese Idee zu widerlegen gesucht, indem er nachweist, dass die Kompression, die Unbeweglichmachung

der Kanäle oder das Ausfliessen der Endolymphe nicht die so oft beschriebenen unbezwingbaren Bewegungen der Tiere veranlassten.

Diese Einwände scheinen mir nicht genügend. Man gibt jetzt zu, dass diese Bewegungen der Tiere von einer lebhaften und dauernden Erregung des Organes herrühren; nun bringt aber von Cyon, indem er den Kanal komprimiert, nur eine schwache und augenblickliche Erregung hervor indem er ihn unbeweglich macht oder die Endolymphe herausfliessen lässt, lähmt er ihn, anstatt ihn zu erregen.

Ich selbst werde Mach einen Einwand anderer Art machen, welcher mir nachzuweisen scheint, nicht, dass seine Theorie ungenau, sondern dass sie unvollständig ist. Die Thatsache nämlich, dass die Veränderungen der Geschwindigkeit sich merkbar machen durch gleichsinnige Veränderungen in den Drücken der Endolymphe, kann die Wahrnehmung der Bewegungs*veränderungen* erklären, aber nicht die *Fortdauer* der Empfindungen bei den gleichförmigen kurzen Bewegungen oder nach dem Anhalten einer schnellen Drehung. Mach sucht sie zu erklären, indem er sagt, dass die Erregung eine Empfindung von längerer Dauer, als sie selbst ist, hervorruft, indem sie das Gefühl einer Geschwindigkeit gibt, deren Wirkungen sich fortsetzen müssen. Dies genügt nicht; denn dann würden zwei gleichförmige Bewegungen mit der gleichen Anfangsgeschwindigkeit aber von ungleicher, obwohl kurzer Dauer uns identisch erscheinen. Aber ich habe gezeigt, dass es sich nicht so verhält, und dass sie ganz und gar, Punkt für Punkt wahrgenommen werden.

Die Hypothese von Mach genügt, die Empfindung der entgegengesetzten Drehung nach dem Anhalten einer Drehbewegung von langer Dauer zu erklären, aber sie lässt die Thatsache unerklärt, dass diese Empfindung nicht auftritt nach kurzen, noch so lebhaften Drehungen*).

*) Nach meinen Versuchen kann ich den Einwänden Delage's gegen Mach nicht einfach zustimmen: es ist nämlich sehr schwierig, eine ganz gleichmässige Bewegung während weniger Sekunden herzustellen und das ist zur Entscheidung der Frage notwendig, denn schon nach 10 bis 20 Sek. hört bei möglichst gleichmässiger

von Cyon sucht das Funktionieren der Kanäle durch die Vibration der Otolithen zu erklären; seiner Theorie gebricht es ganz und gar an Genauigkeit. Die Massenbewegungen der gelatinösen Bildungen, welche die empfindlichen Cilien der Crista acustica verkleistern, könnten ebensogut herbeigezogen werden.

Kurz, da die Endolymphe sich im Innern der Kanäle nicht bewegen kann, so wird die Erklärung der beobachteten Erscheinungen schwieriger und der modus agendi bleibt noch zu ermitteln; aber der halbzirkelförmige Apparat bleibt dennoch das Organ, welches bei weitem am besten die Empfindungen erklärt, welche während und nach den Bewegungen wahrgenommen werden, die wir unserem Kopfe und unserem Körper erteilen.

Bewegung die Empfindung derselben auf; es ist aber im Beginn der Rotation immer etwas Beschleunigung vorhanden, wenigstens 1 bis 2 Sek. lang und weiter tritt die Empfindung des Bewegtseins nicht sofort mit dem Moment des Anfanges der Rotation ein; es bleibt also immerhin nur eine sehr kleine Zeit für die gleichmässige Bewegung übrig und es ist nun wieder der Umstand störend, dass die Empfindung von dem Bewegtsein allmählich aufhört, ohne dass sich ein bestimmter Zeitpunkt dafür markieren lässt. — Gewöhnlich wurde erst nach 5 bis 7 Sek. eine Angabe über die Richtung der Bewegung gemacht und bei 12 bis 15 Sek. war die Empfindung von der Bewegung erloschen bei einer Winkelgeschwindigkeit von 6^0 bis 7^0 in 1 Sek., nur einmal wurde bei $8^0,3$ Winkelgeschwindigkeit schon nach 1 Sekunde die Drehung empfunden, hörte aber nach 9 Sekunden vollständig auf; nachdem die Bewegung bis zur 30sten Sekunde fortgedauert hatte, trat nach dem Anhalten die scheinbar entgegengesetzte Drehungsempfindung sofort ein und dauerte 6 Sekunden lang. — Bei sehr kurz dauernden Drehungen kann es aber sogar vorkommen, dass man die Nachempfindung für die primäre Empfindung hält, welche selbst gar nicht zur Perzeption gekommen ist.

Vorläufig kann ich dem Satze Delage's »dass die kurzen Drehbewegungen mit allen ihren Charakteren der Richtung, der Geschwindigkeit und der Dauer erkannt werden, nicht zustimmen, doch sind hier neue, auf diesen speziellen Punkt gerichtete, mit genauester Registrierung der objektiven Geschwindigkeiten und der Versuchsangaben anzustellende Beobachtungen erforderlich. Delage hat wohl insofern Recht, als bei sehr kleinen Drehungen schon die Bewegung überhaupt empfunden, auch ihre Schnelligkeit einigermassen richtig beurteilt, und auch die Grösse der Exkursion ganz ungefähr bestimmt werden kann. Wenn Mach (Grundlinien der Bewegungsempfindung S. 33) sagt: »eine gleichförmige Bewegung wird nie empfunden, so ist dies für Rotationsbewegungen allerdings nicht zutreffend — dass aber andererseits die kleinsten Beschleunigungen oder Verlangsamungen mit grosser Präzision empfunden werden, darüber habe ich mich oft zu meinem Erstaunen vergewissert.

Die Kritik der Täuschungen, welche durch die abnormen Stellungen unseres Kopfes entstehen, spricht vollständig zu Gunsten dieser Theorie.

Nehmen wir an, wir erteilten unserm Körper eine Bewegung in der Ebene der vertikalen Kanäle, dem oberen linken und dem hinteren rechten; die Bewegung wird in den betreffenden Kanälen ein Bestreben der Endolymphe zur Zirkulation hervorbringen, und wird so empfunden werden, wie es ist, d. h. in einer Ebene, welche mit der Medianebene einen nach links und vorn offenen Winkel von 45^0 bildet. Wenn wir in diesem Augenblicke den Kopf um 90^0 nach links wendeten (in der Voraussetzung, dass dies möglich wäre), so würde der Strom der Endolymphe sich in den vertikalen Kanälen, hinteren linken und oberen rechten zu entwickeln streben, und wir müssten die Empfindung einer Drehung in einer Ebene haben, welche mit der Medianebene einen nach rechts und vorn offenen Winkel bilden würde. Alles müsste also so vor sich gehen, als wenn die Drehungsaxe sich parallel zum Kopfe aber in umgekehrtem Sinne verschoben hätte um 90^0.

Man könnte diese Betrachtung für alle übrigen Bewegungen und Lageveränderungen des Kopfes wiederholen, und so die Formeln (17), (18) und (19) wiederfinden, welche wir durch den Versuch gefunden haben. Wirklich erklärt sich Alles durch die Thatsache, dass bei der Drehung des Kopfes die Kanäle sich einander vollständig oder teilweise vertreten, um den ganzen oder teilweisen Strom der Endolymphe aufzunehmen, welcher die Bewegung hervorzubringen strebt. Allemal, wenn dieser Strom sich nur in zwei korrespondierenden [1]) Kanälen zu ent-

1) Die Korrespondenz der Kanäle wird nicht durch ihre Symmetrie, sondern durch ihren Parallelismus bestimmt. Nur die horizontalen Kanäle sind zugleich symmetrisch und korrespondierend. Von den vertikalen Kanälen ist der obere linke parellel dem hinteren rechten und ihm korrespondierend, und der obere rechte ist parallel und korrespondierend dem hintern linken. v. Cyon findet diese von Crum Brown ausgehende und von mehreren Autoren acceptierte Auffassung so absurd, wie etwa eine Vergleichung der Funktionen eines jeden Armes mit dem Beine der entgegengesetzten Seite. Dies ist keine ernsthafte Antwort. Es gibt einen erwiesenen Fall von Korrespondenz unsymmetrischer Organe: das sind die Augenmuskeln. Der grade innere rechte z. B. ist symmetrisch dem graden inneren

wickeln bestrebt ist, haben wir die Empfindung einer Drehung in ihrer Ebene; allemal wenn er strebt, sich in zwei oder in allen drei Paaren zu entwickeln, gibt er die Empfindung einer Drehung in einer dazwischen liegenden Ebene. Die relative Intensität der in zwei korrespondierenden Kanälen ausgeübten Wirkung ist um so grösser, je näher die Drehungsebene ihrer eigenen Ebene, um so schwächer, je mehr sie davon entfernt ist, derart, dass diese relative Intensität als Mass für den Winkel dient, welchen die Drehungsebene mit der Ebene der Kanäle bildet. Mit andern Worten, die Richtung der Bewegung ist gegeben durch ihre Projektion auf die drei Ebenen der Kanäle.

Diese Begriffe sind gewiss ebensowenig angeboren, als die andern und wir sind durch die persönliche Erfahrung in der Kindheit, unterstützt durch jene erbliche Erfahrung, welche man »Instinkt« nennt, daran gewöhnt, jede einfache oder mehrfache Empfindung mit der Drehung, welche sie hervorbringt, in Verbindung zu setzen.

Das Studium der Täuschungen bei der Drehung ist ein Beweis dafür: Da wir gewohnt sind, den Kopf gerade zu halten, so schreiben wir unserem Körper diejenige Bewegung zu, welche er gemacht haben würde, wenn der Kopf in seiner normalen Stellung dieselben Empfindungen gehabt hätte. So glauben wir bei der oscillierenden Bewegung auf dem Zapfenbrette, wenn wir nach vorn bewegt werden und der Kopf nach rechts gewendet ist, uns nach vorn und links zu bewegen, weil wirklich der Kopf sich nach seiner linken Seite hinbegibt, und weil in der normalen Stellung die linke Seite des Körpers zusammenfällt mit der des Kopfes.

Ein Einwand könnte jedoch in der Thatsache gesucht werden, dass die scheinbare Veränderung der Lage der Drehungsaxe, statt der wirklichen Lage des Kopfes gleich zu sein, um ungefähr 15^0 geringer ist.

Aber weit davon entfernt, ein Einwand zu sein, liefert diese Thatsache einen weiteren Beweis zur Stütze der Theorie. Neh-

linken, aber er zieht sich niemals mit ihm bei den Bewegungen der Augen zusammen; er ist im Gegenteil synergisch dem graden äusseren linken und ihm korrespondierend.

men wir als Beispiel die Bewegung des Kopfes um seine vertikale Axe und die Drehung des Körpers in seiner Medianebene. Der Kopf kann um 60° von seiner normalen Stellung abgewendet sein und doch scheint die Ablenkung der Drehungsebene nur 45° zu betragen.

Dies erklärt sich leicht aus der Thatsache, dass die statischen Täuschungen, wie wir weiter oben gezeigt haben, sich zwar während der Drehbewegungen, aber von den dynamischen Täuschungen, welche entgegengesetztes Vorzeichen haben, abgetrennt geltend machen. Ich kann davon einen noch viel vollständigeren Nachweis liefern.

Man streckt sich auf dem Zapfenbrette, wendet den Kopf nach rechts und schliesst die Augen. Die Oscillationsebene scheint nach links abgelenkt um etwa 45°. Wendet man die Augen stark nach rechts, ohne sie zu öffnen, so scheint die Ablenkung sogleich um wenigstens 10° abzunehmen und fällt auf kaum 35°. Wendet man sie so stark, wie möglich nach links, so nimmt die Ablenkung alsbald stark zu und erreicht wenigstens 75°; das Schaukeln scheint ein beinahe seitliches zu sein. Wenn man bei aufmerksamer Beobachtung und allenfalls, indem man ein Ziel fixiert, bevor man die Augen schliesst, sich anstrengt, die Augen in die Antlitzebene zu richten, so schreibt man dann der Abweichung ihren theoretischen wahren Wert von etwa 60° zu.

Dieselbe Schlussfolgerung und dieselben Versuche könnten für die Drehung um andere Axen wiederholt werden, der Art, dass wir alles Vorstehende folgendermassen zusammenfassen können:

24) Bei den Drehbewegungen haben alle durch abnorme Kopfstellungen hervorgebrachten Täuschungen die Wirkung, dass man dem Körper die Bewegungen zuschreibt, welche er in Wirklichkeit gehabt haben würde, wenn der Kopf, nachdem er seine Normalstellung wieder angenommen hat, ebenderselben Kurve in bezug auf seine morphologischen Axen gefolgt wäre.

Diese Täuschungen haben also denselben Winkelwert, wie die Abweichungen des Kopfes; aber sie werden zum Teil verändert durch eine statische Täuschung in umgekehrtem Sinne, welche

sich gleichzeitig entwickelt durch die thatsächliche Ablenkung der Augäpfel. Diese letztere summiert sich algebraisch zu der vorigen und kann nach Belieben vergrössert, verkleinert, auf Null gebracht oder in ihrem Vorzeichen verändert werden.

Die durch die Drehbewegungen hervorgerufenen Empfindungen haben ihren Sitz im Kopfe. Sie lassen sich weder durch die Bewegungen der Augäpfel, noch durch diejenigen des Gehirns oder der Cerebrospinalflüssigkeit in genügender Weise erklären. Das Organ, welches durch seine anatomische und histologische Bildung am besten von den beobachteten Empfindungen und Täuschungen Rechenschaft gibt, ist die Gesamtheit der halbzirkelförmigen Kanäle und der Utrikuli.

Ein wichtiger Einwand ist dieser Theorie gemacht worden. von Cyon gibt an, er habe festgestellt, dass die Durchschneidung der Gehörsnerven bei Kaninchen nicht die Erzeugung des Purkinje'schen Schwindels verhinderte.

Wenn diese Beobachtung sich bestätigt, so wird man wirklich auf die Theorie verzichten müssen, wenigstens wenn man nicht in den Augen allein oder in irgend einer Empfindung von anderer Ordnung die Ursache der Bewegungen, welche die operierten Kaninchen machen, finden kann. Aber ich gestehe, dass der Versuch von Cyon mich nicht vollständig überzeugt hat.

Erstens hat der Autor den Fehler begangen, die Kaninchen nicht zu blenden, so dass er nicht den Anteil der durch die Durchschneidung des Gehörsnerven unzweifelhaft, wie wir später zeigen werden, verdrehten Gesichtsempfindung hat berücksichtigen können. Zweitens sind die Durchschneidungen von Nerven innerhalb des Schädels, wie ich aus eigener häufiger Erfahrung weiss, sehr schwer gut auszuführen und der Autor sagt nichts davon, dass er durch die Autopsie festgestellt hat, ob die Durchschneidung eine vollkommene gewesen sei. — Endlich sagt er nichts davon, ob er so lange damit gewartet hat, die operierten Kaninchen der Drehung auszusetzen, bis die der Operation folgende Erregung ganz vorüber war. Es wäre nicht unmöglich, dass bei den den Tieren aufgedrungenen Bewegungen das frisch durchschnittene Nervenende in Erregung ge-

wesen und dem Gehirne ungeordnete Eindrücke mitgeteilt hätte.

Breuer hat festgestellt, dass die kompensatorischen Drehbewegungen bei Tauben auftreten, welche ihres häutigen Labyrinthes beraubt waren, und dass sie aufhörten, sich zu zeigen, wenn das Tier ausserdem geblendet und der Empfindungen der Berührung seiner Flügel beraubt war. von Cyon behauptet dass ein Versuch dieser Art nicht gelingen könne wegen der heftigen Bewegungen, denen die operierten Tiere anheimfallen. Es ist möglich, dass Breuer da Erfolg gehabt hat, wo Cyon gestrandet ist, infolge der Vorsichtsmassregel, die Tiere nur in tiefer Narkose zu operieren, derart, dass die Wirkungen der nach der Operation eintretenden Erregung vermindert und ihre Dauer abgekürzt wurde.

VIII. Dynamische Empfindungen und Täuschungen bei Fortbewegung *).

A. Fortbewegung auf Eisenbahnen.

Alle Leute, welche auf Eisenbahnen gefahren sind, wissen, dass wenn der Zug in Bewegung ist, man sich der Ortsveränderung nicht bewusst ist. Man empfindet das Rütteln des Waggons, aber weiter nichts. Man weiss, dass man fortbewegt wird nur daher, dass man überzeugt ist, dass dieses Rütteln nicht statthaben würde, wenn der Zug hielte. Dies ist so sicher, dass, wenn man nicht weiss, nach welcher Seite hin die Bewegung geht, man sich vollkommen täuschen, und der Meinung sein kann, dass man sich in umgekehrter Richtung fortbewegt, bis ein Gesichtseindruck den Irrtum berichtigt.

Mach hat sogar die Thatsache angegeben, dass man, selbst wenn man die Richtung der Fortbewegung kennt, man sich vorstellen kann, sie fände in umgekehrter Richtung statt. Ich für mein Teil bin dahin gekommen, mir nach Belieben vorstellen zu können, dass die Ortsveränderung vorwärts, rückwärts oder selbst nach der Seite hingeht, und zwar, indem ich durch eine Anstrengung, welche die Uebung mir erleichtert hat, die topo-

*) Statt »Fortbewegung« gebrauchen Mach und andere den Ausdruck »Progressive Bewegung.«

graphische Ebene sich drehen lasse, welche sich vor den Augen meiner Phantasie befindet.

Dies ist mehr als genügend, um zu zeigen, dass man keine wirkliche Empfindung von der Fortbewegung hat und dass die Vorstellung von der Ortsveränderung ein rein psychischer Vorgang ist. Diese Vorstellung ist das Produkt eines unbewussten intellektuellen Aktes, vermöge dessen wir aus dem Rütteln des Wagens das Vorhandensein einer Ortsveränderung nach dem Ziele hin, welches der Zug erreichen soll, folgern.

Also hier geben, ebenso wie bei den Drehbewegungen, selbst sehr grosse Geschwindigkeiten keinen Anlass zu irgend einer Empfindung, wenn sie gleichförmig sind. Ueber diesen Punkt herrscht Einigkeit.

Nicht ebenso ist es für den Fall, dass die Geschwindigkeit sich ändert.

Bei der Abfahrt nimmt die Geschwindigkeit zu, bei der Annäherung an die Stationen nimmt sie ab: man müsste also, wenn das Mach'sche Gesetz richtig ist, in dem ersten Falle die Empfindung einer Bewegung nach vorwärts, in dem zweiten die eines Rückwärtsgehens haben.

Mach scheint anzunehmen, dass es so ist (loc. cit. p. 23), aber von Cyon ist der entgegengesetzten Meinung. Jedesmal, wenn ich, seit ich mich mit diesen Fragen beschäftige, auf der Eisenbahn gefahren bin, habe ich mit grosser Sorgfalt meine Empfindungen analysiert, und ich erkläre, dass ich ganz und gar der Meinung des letzteren bin.

Man hat keine deutliche oder sich aufdrängende Empfindung, dass die Geschwindigkeit zu- oder abnimmt; es ist leicht, bei der Abfahrt sich einzubilden, dass man sich nach rückwärts und bei der Ankunft, dass man sich nach vorwärts fortbewegt. Das ist der beste Beweis, dass keine wirkliche Empfindung vorhanden ist, und dass unser Urteil das Produkt einer Ueberlegung ist. Der einzige Fall, in welchem man die Richtung der Bewegung ahnen kann, ist der, wenn es einen Stoss gibt, infolge einer plötzlichen Abfahrt oder eines plötzlichen Anhaltens. Aber die Empfindung dauert nur einen Augenblick, sie trifft hauptsächlich die Muskeln und die Haut und lässt sich erklären aus

dem Gleiten der Sitzbeine auf dem Muskel- und Hautpolster, welches an dem Sitze anhaftet und durch den Wechsel des Drucks vom Rücken gegen die Lehnen.

So werden die positiven oder negativen Beschleunigungen der Fortbewegung nicht wahrgenommen, wenigstens wenn sie nicht grösser sind, als diejenige der Expresszüge auf den Eisenbahnen. Und doch erreicht die negative Beschleunigung bei der Ankunft seit der Anwendung der automatischen Bremsen mit Dampf oder komprimierter Luft einen hohen Wert.

Um den störenden Einfluss des Rüttelns zu beseitigen, habe ich ein kleines äusserst leichtes und gleichmässiges Bot bauen lassen, gross genug, um darin liegen zu können. Dieses Bot war vorn an einer elastischen Schnur aus Kautschukröhren befestigt. Es glitt auf dem vollkommen ruhigen Wasser des Teiches der Station zu Roscoff und durchlief mit schneller Vorwärtsbewegung eine Strecke von beinahe 30 Meter. Das Bot wurde durch ein kurzes Tau festgehalten, die elastische Schnur stark gespannt, dann das Tau durchschnitten.

Ich habe festgestellt, dass man nach dem Stosse bei der Abfahrt keine Fortbewegung empfindet bis zur Ankunft und man glaubt auf ein und derselben Stelle durch die kleinen unvermeidlichen Schwankungen des Schlingerns*) geschaukelt zu werden. Das Erstaunen ist gross, wenn man sich erhebt, zu finden, dass man eine Strecke von beinahe 30 Meter zurückgelegt hat, ohne etwas davon bemerkt zu haben. Und doch dauert die positive Beschleunigung eine sehr merkliche Zeit, und wird dann während noch viel längerer Zeit negativ.

Es ist jedoch möglich, dass noch grössere Beschleunigungen besondere Empfindungen entstehen lassen. Folgende Beobachtung veranlasst mich, dies zu glauben. Eines Tages hatte ein Zug, auf welchem ich mich befand bei der Annäherung an das Ziel eine zu grosse Geschwindigkeit behalten, die automatischen Bremsen wirkten mit all ihrer Kraft und trotzdem fand das Anhalten erst ein wenig jenseits der Station statt. Die negative Beschleunigung war jedenfalls sehr gross. Mit Lesen beschäftigt

*) Schlingern = Wanken des Schiffes.

wusste ich nicht, was vorging und hatte völlig spontan die Empfindung einer Umkehr der Bewegungsrichtung.

Es ergibt sich aus dem Vorstehenden, dass die Beschleunigungen von der Grösse derjenigen, welche den Expresszügen auf Eisenbahnen gegeben werden, gewöhnlich nicht empfunden werden, wenigstens unter den Bedingungen, unter denen man sie wahrzunehmen sucht, d. h. beeinträchtigt durch das Rütteln des Wagens.

Es bleibt übrig, zu erforschen, ob grössere oder unter besseren Bedingungen beobachtete Beschleunigungen wahrgenommen werden können, zu welchen Empfindungen sie Anlass geben könnten und welche Täuschungen die abnormen Stellungen des Kopfes hervorbringen.

Um diese Fragen zu entscheiden, sind Apparate erforderlich, bei denen man über die Beschleunigungen der Fortbewegung verfügen, welche man abstufen und berechnen kann und deren Bewegungen sanft und geräuschlos sind. Aber die mechanischen Anordnungen sind hier viel komplizierter als die für die Drehung.

Einer der bequemsten Apparate ist jedenfalls die Schaukel. Da sind keine Stösse, kein Geräusch; Beschleunigungen, welche man beträchtlich gross machen kann, und welche für jeden Augenblick nach den Formeln für das Pendel berechnet werden können. Dieser Apparat würde vollkommen sein, wenn er nicht einen Fehler hätte, auf welchen ich später zurückkommen werde.

B. Fortbewegung in der gewöhnlichen Schaukel.

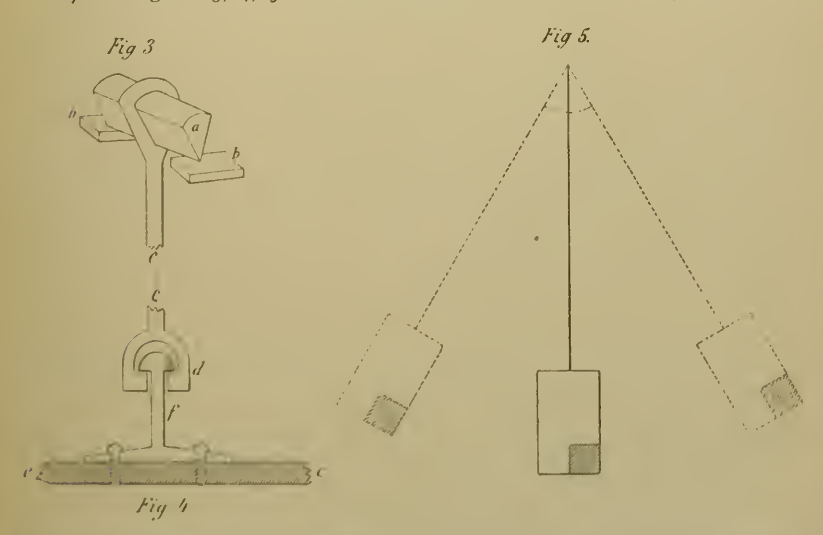
Ich habe zur Schaukel einen geschlossenen Kasten gewählt, in welchem man mit verbundenen Augen sitzt. Löcher unterhalb des Sitzes gestatten der Luft den Zutritt, aber nicht dem Lichte und ebensowenig den Luftströmungen, welche die nackten Teile treffen könnten. Passend angebrachte Kissen halten alle Teile des Körpers in festem Kontakt mit den Wänden und machen den Kasten und die Versuchsperson zu einem mechanisch festen Ganzen. Der Kopf sogar wird in den verschiedenen Stellungen, welche man ihm mittelst eines angepassten

Rahmens gibt, festgehalten. Dieser Kasten hängt an einer etwa 6 Meter langen eisernen Stange, welche an ihrem oberen Teile mittelst eines Waagenprismas, welches auf zwei Stahlplatten ruht, sich hin und herbewegen kann. Der Kasten ist an der Stange vermittelst eines Wirbels befestigt in der Weise, dass er in einer zu dieser senkrechten Ebene gedreht werden kann*).

1. Normale Empfindungen.

Wenn die Versuchsperson ins Innere des Kastens eingesetzt und der Deckel an seinen Platz gebracht worden ist, so erteilt man ihr Drehbewegungen nach rechts und links, bis man durch ihre Antworten sicher darüber ist, dass sie desorientiert ist und nicht mehr weiss, wo sich die notwendigerweise unveränderliche Schaukelebene befindet. Nachdem man einen Augen-

*) Die Figuren 3, 4, 5 dienen zur Illustration der Schaukel: Fig. 3 zeigt das



auf den Stahlplatten ruhende Prisma a, an welchem die eiserne Stange c befestigt ist; Fig. 4 zeigt den »Wirbel« d, mittelst dessen der daran befestigte Kasten ee um seine vertikale Axe f gedreht werden kann; Fig. 5 stellt die ganze Schaukel in Bewegung dar. (Nach Skizzen von Herrn Delage). Der Wirbel (émerillon) Fig. 4 ist eine Art Haken, welcher an den Ketten, die zum Haifischfange dienen befestigt ist; auch hier zu Lande sind diese Wirbel an Viehketten gebräuchlich und heissen »Wirbelketten« (plattdeutsch: Warwelketten).

blick gewartet hat, setzt man das Pendel in Bewegung, ohne sie davon zu benachrichtigen.

Sofort bemerkt sie es und erkennt ohne Irrtum die Richtung des Schaukelns in der sagittalen, frontalen oder einer dazwischen gelegenen Ebene.

Die Bewegungen werden sogar mit grosser Feinheit wahrgenommen. So werden Exkursionen von nur 1^0 im Ganzen, entsprechend 10,5 cm zurückgelegt in 9 Sekunden oder 1,16 cm ungefähr in der Sekunde als mittlere Geschwindigkeit, noch genau wahrgenommen, und die Versuchsperson gibt, ohne sich zu irren, die vordere und hintere Grenze der Bewegung an.

Nennt man α den Winkel, welchen die extremste Lage mit der Vertikalen bildet, l die Länge des Pendels, so wird die maximale Geschwindigkeit, also unter der Vertikalen, sein:

$$V = \sqrt{2g \cdot l \cdot (1 - \cos \alpha)}$$ [1].

Für $l = 6$ Meter und $\alpha = 30'$ erhält man

$$V = 6{,}7 \text{ cm}.$$

Aber in Wirklichkeit ist diese maximale Geschwindigkeit geringer wegen des Widerstandes der Luft. Auch ist die angegebene Zahl grösser als das Maximum.

Das Beschlenigungsmaximum, das heisst an den Enden des durchlaufenen Bogens, ist

$$\gamma = g \cdot \sin \alpha$$ [2])

und für $\alpha = 30'$:

$$\gamma = 8{,}56 \text{ cm}.$$

So werden also in diesem Apparate mittlere Geschwindigkeiten von 1,16 cm in der Sekunde, maximale Geschwindigkeiten von höchstens 6,7 cm noch wahrgenommen, begleitet von Beschleunigungen, welche 8,56 cm p. 1'' erreichen, wenigstens während eines Teils der Bewegung.

Die geringste wahrnembare Beschleunigung entspricht ohne Zweifel einer noch geringeren Grösse, da keine Rücksicht auf

---

1) Nennt man h die Fallhöhe, so hat man: $V = \sqrt{2g \cdot h}$. Aber $l - h$ ist $= l \cdot \cos \alpha$, woraus $h = l(1 - \cos \alpha)$, und $V = \sqrt{2g \cdot l \cdot (1 - \cos \alpha)}$.

2) Indem man die Kraft g (Schwerkraft) in zwei andere Kräfte zerlegt, eine, welche den Faden spannt, die andere γ, welche die Beschleunigung ist, hat man, da das Dreieck ein rechtwinkeliges ist, $\gamma = g \cdot \sin \alpha$.

den Widerstand der Luft genommen worden ist. Doch ist zu bemerken, dass diese Fehlerquelle von keiner grossen Bedeutung ist.

2. Täuschungen.

Gehen wir zu dem Studium der Täuschungen über, welche durch die veränderten Stellungen des Kopfes hervorgebracht werden.

Auch hier müssen wir 3 Fälle ins Auge fassen und gesondert die Wirkungen der Lageveränderungen des Kopfes um seine 3 Hauptaxen studieren.

a) Drehung des Kopfes um seine vertikale Axe.

Wenn man unter denselben Bedingungen den Kopf stark nach rechts zum Beispiel wendet, so scheint die Schaukelebene verlegt, so dass sie mit der wahren Ebene einen nach links und vorn offenen Winkel von 20° bis 25° bildet.

Für die Linke ist es umgekehrt.

Wendet man den Kopf langsam nach rechts oder nach links während der Bewegung, so fühlt man, dass die Schaukelebene ihre Lage in umgekehrtem Sinne verändert.

Und zwar ist die scheinbare Kurve nicht einfach schief. Sie hört auf gradlinig zu sein und nimmt die Form eines sehr lang gezogenen F an, dessen mittlerer Teil bis auf eine gewisse Strecke mit der wirklichen Kurve zusammenfällt, während die Enden stark abgelenkt sind. Durch die gerade Linie, welche diese Enden verbindet, habe ich die Winkelabweichung geschätzt: sie beträgt 20° bis 25°. Dies zeigt an, dass die Täuschung sich mit ihrer ganzen Intensität nur an den Enden deutlich zeigt, wo die Beschleunigung ihren grössten Wert hat.

b) Neigung des Kopfes um seine sagittale Axe.

Wenn der Kopf sich nach der einen oder anderen Schulter um seine sagittale Axe dreht, so erscheint die Richtung nicht verändert und wird auch als eine sagittale empfunden, aber die Wurflinie scheint leicht gekrümmt und konkav auf der Seite, nach welcher der Kopf geneigt ist, als wenn die Drehungsaxe sich in entgegengesetztem Sinne geneigt hätte.

c) Beugung des Kopfes um seine Queraxe.

Wenn der Kopf sich nach vorn oder nach hinten beugt,

so scheint die Wurflinie nicht verändert weder in der Richtung noch in der Form, aber sie scheint in umgekehrtem Sinne wie der Kopf zurückgeschoben auf der Kurve, welche er beschreibt. Diese Wurflinie liegt also auf einem Bogen, dessen Zentrum ein wenig über dem Kopfe auf der Verlängerung der Körperaxe gelegen ist, aber der Bogen des durchlaufenen Kreises scheint sich mit der Beugung des Kopfes zu verändern. So glaubt man für Exkursionen von 10^0 zum Beispiel statt 5^0 vor und 5^0 hinter der Vertikalen einen Bogen von 10^0 auf ein und derselben Seite von dieser Linie zu beschreiben: nach hinten von derselben, wenn der Kopf auf die Brust gebeugt, nach vorn von ihr, wenn er nach hinten zurückgebeugt ist. Dies ist eine sehr fremdartige Empfindung, welche man ganz deutlich wahrnimmt.

Es scheint, dass man berechtigt ist, aus vorstehendem zu schliessen:

1) dass die Empfindungen der Fortbewegung mit grosser Feinheit wahrgenommen werden;

2) dass der Sitz dieser Empfindungen sich im Kopfe befindet, weil Lageveränderungen desselben zu Täuschungen führen.

In Wirklichkeit ist der erste Satz zwar sehr wahrscheinlich aber nicht genügend bewiesen und der zweite erhält nicht einmal den schwächsten Beweis.

Es muss nämlich bemerkt werden, dass die Bewegung der Schaukel nicht eine reine Fortbewegung ist. Es ist eine aus einer Fortbewegung auf einer kreisförmigen Wurflinie und aus einer Drehung gemischte Bewegung, und es wäre möglich, dass die eingetretenen Täuschungen einzig und allein durch die Drehung hervorgerufen würden, welche mit der Fortbewegung verbunden ist[1]).

Es ist leicht, indem man die Täuschungen bei der Schaukel mit denjenigen bei der Drehung um die Queraxe des Körpers vergleicht (cf. p. 58 bis 60), sich zu überzeugen, dass sie identisch mit denjenigen sind, welche die Drehung hervorbringen

1) Die Körperaxe folgt der Neigung der Schnüre der Schaukel; die Axe ist nach vorn geneigt an dem hinteren Ende der Bewegung, vertikal in der Mitte, nach hinten geneigt an dem vorderen Ende und der beschriebene Winkel ist genau dem von dem Apparate durchlaufenen gleich.

würden, wenn sie nicht von Fortbewegung begleitet wären. Die durch die Neigung des Kopfes nach der einen oder anderen Schulter, oder durch die Drehung desselben nach links oder rechts, sind genau bestimmt durch den Satz (18), welcher die auf dem Zapfenbrett gewonnenen Täuschungen zusammenfasst.

Was die durch die Beugungen des Kopfes nach vorn oder hinten hervorgebrachte Täuschung betrifft, so erklärt sie sich leicht durch diejenige, welche wir weiter oben in dem Kapitel über die statischen Täuschungen bei der Orientierung des Körpers studiert haben. Es ist eine statische Täuschung, welche sich während der Bewegung geltend macht. Wenn wir den Kopf stark nach vorn beugen, so scheint uns eine nach oben und hinten schiefe Linie vertikal (S. 21—23), eine vertikale Linie scheint uns nach vorn geneigt. Auf Grund dessen empfinden wir, wenn die Axe unseres Körpers mitten im Schwunge vertikal ist, sie auch nach vorn geneigt, was nur stattfinden kann, wenn wir uns auf dem hinteren Segmente der Wurflinie befinden; ist die Axe unseres Körpers auf dem vorderen Ende der Bewegung um einige Grade nach hinten geneigt, so scheint sie uns vertikal (wenn der Winkel nicht zu gross ist), was nur stattfinden kann, wenn wir uns mitten in der wahren Wurflinie befinden. Die Gesamtheit aller dieser übereinstimmenden und sich ebenso in allen intermediären Stellungen entwickelnden Täuschungen lässt uns glauben, dass unsere Schaukelbewegung sich weiter nach hinten hin ausdehnt und nach vorn bei der Vertikalen Halt macht.

Ist der Kopf nach hinten zurückgebeugt, so ist der Erfolg natürlich der umgekehrte.

So erklären sich also alle die Täuschungen auf der Schaukel durch die sie begleitenden teils rotatorischen, teils statischen Täuschungen der Art, dass nichts die Existenz von Täuschungen, welche von der Fortbewegung herrühren, nachweist.

Es ist sogar geraten, sich nicht dabei von den Angaben der Schaukel fesseln zu lassen, sowohl nicht, um die Existenz von Fortbewegungsempfindung zu bejahen, als noch weniger, um sie zu messen. Denn man muss den Schlussfolgerungen einer instinktiven Ueberlegung misstrauen, welche man im guten

Glauben mit einer wirklichen Empfindung zu verwechseln Gefahr läuft. Durch die rotatorischen Empfindungen empfinden wir, dass wir in Bewegung sind: wir wissen ausserdem vorher, dass diese Bewegung hauptsächlich eine Fortbewegung ist. Daraus zu schliessen, dass wir die Fortbewegung empfinden, liegt sehr nahe.

Die folgende Thatsache erlaubt schon zu argwöhnen, dass die Fortbewegung nicht in eben demselben Grade bemerkt wird, wie die Drehbewegung. Während man in dem Apparate geschaukelt wird, gibt man sich, wenn man die besonderen Umstände der Bewegung zu analysieren sucht, genau Rechenschaft über den Winkel des Schaukelns, aber man glaubt den Punkt der Aufhängung sehr viel näher zu fühlen, als er in Wirklichkeit ist. Wenn man bei offener Thür des Apparates sich mit geschlossenen Augen schaukeln lässt, so ist man, wenn man sie plötzlich öffnet, erstaunt, zu sehen, dass man 2 oder 3 Meter durchläuft, da man glaubte, ungefähr die Hälfte eines Meters zu durchlaufen. Das heisst: die Drehung ist ganz und gar wahrgenommen worden, während die Fortbewegung erheblich unter ihrem Werte geschätzt worden ist.

Bevor wir diese Studie der Schaukel verlassen, ist es wichtig, eine Thatsache anzumerken, welche in Widerspruch mit der Theorie zu sein scheint.

Setzen wir zum genaueren Verständnis voraus, die Schaukel schwinge in der Ebene des Meridians. N sei der äusserste Punkt nach Norden, S der äusserste Punkt nach Süden, V derjenige unter der Vertikalen. Nehmen wir an, die Versuchsperson blicke nach Norden und gehe aus von dem Punkte S. Von S bis V ist die Geschwindigkeit ebensowohl für die Drehbewegung als für die Fortbewegung beschleunigt, und die Versuchsperson muss die Bewegung in demjenigen Sinne, in welchem sie wirklich stattfindet, empfinden. Dies bestätigt überdies der Versuch. Aber von dem Punkte V an bis nach N ist die Geschwindigkeit verzögert und die Versuchsperson müsste nach dem Mach'schen Gesetze die Empfindung einer Rückwärtsbewegung haben. Ebenso müsste bei der Rückkehr von N nach V die Bewegung so wie sie ist empfunden werden, d. h.

als Rückwärtsbewegung, aber von V bis S müsste sie umgekehrt wie sie ist, empfunden werden, d. h. als von hinten nach vorn gerichtet. Kurz die Versuchsperson müsste glauben, dass sie nach vorn bewegt wird, wenn sie die Abteilung VSV der Wurflinie zurücklegt, und dass sie nach hinten zurückkehrt, wenn sie das Segment VNV zurücklegt und jedesmal müsste sie glauben an dem Kulminationspunkte zu sein, wenn sie die Vertikale passiert, weil dort die Beschleunigung ihr Vorzeichen ändert.

Aber dies findet nicht statt.

Für Schwingungen von 8° bis 10° fällt die Empfindung des Anhaltens weder mit V noch mit N oder S zusammen; sie entsteht in einem diesen letzteren sehr nahen Punkte. So glaubt die Versuchsperson bei der Bewegung von S nach N, wenn sie bei dem Kulminationspunkte ist, ein wenig vorher N zu erreichen und sie steigt sogar während einer sehr kurzen Zeit, wenn sie nach V schon wieder abwärts zu gehen glaubt.

Mit Hilfe der Bewegungen der Endolymphe würde sich dies vollständig erklären lassen.

Während des Absteigens von S bis V erhält in Berücksichtigung der begleitenden Drehbewegung die Wand der halbzirkelförmigen vertikalen Kanäle eine beschleunigte Geschwindigkeit, welche endlich sehr gross wird, während die Endolymphe langsam durch die Reibung mitgezogen nur eine viel geringere Geschwindigkeit erlangt. Während des Ansteigens von V bis N nimmt die Geschwindigkeit der Kanäle ab ohne ihr Vorzeichen zu wechseln, die Geschwindigkeit der Flüssigkeit fährt fort zuzunehmen und erst wenn diese beiden Geschwindigkeiten einander gleich geworden sind, haben wir die Empfindung des Anhaltens. Aber dies hat eine gewisse Zeit erfordert, während welcher die Bewegung fortgedauert hat, der Art, dass die Empfindung des Anhaltens erst nach einer beträchtlichen Distanz von dem Punkte V auftritt.

Weil diese Bewegungen der Endolymphe nicht entstehen können, so können die Erscheinungen in aller Strenge durch die Hypothese von Mach, dass die Empfindung einige Zeit fortdauert, nachdem die Erregung aufgehört hat, erklärt werden.

Die Analyse der Empfindungen beim Schaukeln gestattet uns, ein von Mach aufgestelltes Gesetz zu widerlegen, nach welchem auch die Beschleunigungen selbst aufhören empfunden zu werden, wenn sie konstant sind [1]). Der zwingende Schluss aus diesem Gesetze würde der sein, dass die veränderten Beschleunigungen als eine Bewegung in gleichem Sinne empfunden werden, wenn sie zunehmen und unter der Form einer Bewegung im umgekehrten Sinne, wenn sie abnehmen. Folglich, wenn die Wirkungen des Mach'schen Gesetzes sich allein zeigen, müsste man vorwärts zu gehen glauben, wenn man zurückschwingt, rückwärts, wenn man vorwärts schwingt.

Während des Herabgehens von S bis V ist die Beschleunigung nach vorwärts gerichtet und da sie immerfort abnimmt, so müsste sie der Versuchsperson die Empfindung einer im umgekehrten Sinne dieser Beschleunigung gerichteten Bewegung erteilen, das heisst von vorn nach hinten. Von V bis N ist die Beschleunigung nach rückwärts gerichtet, und da sie dabei zunimmt, so müsste die Versuchsperson die Empfindung einer in dem Sinne dieser Beschleunigung gerichteten Bewegung verspüren und infolge davon auch von vorn nach hinten. Bei Fortsetzung der Schlussfolgerungen würde man sehen, dass bei der Rückkehr die Versuchsperson die Empfindung einer Bewegung von hinten nach vorn verspüren müsste, gerade umgekehrt, wie die Wirklichkeit, und beinahe umgekehrt wie die wahren Empfindungen.

Es scheint mir nicht, dass Mach die Erklärung dieses Unterschiedes zwischen den postulierten und den wirklichen Empfindungen in seiner Auffassung der Art der Erregung der Kanäle und in der Fortdauer der Empfindungen nach der Erregung, welche sie hat entstehen lassen, finden könnte.

Auch denken wir:

25) Bei den Drehbewegungen sind wir empfindungsfähig für die Veränderungen der Geschwindigkeit aber nicht für diejenigen der Beschleunigung.

---

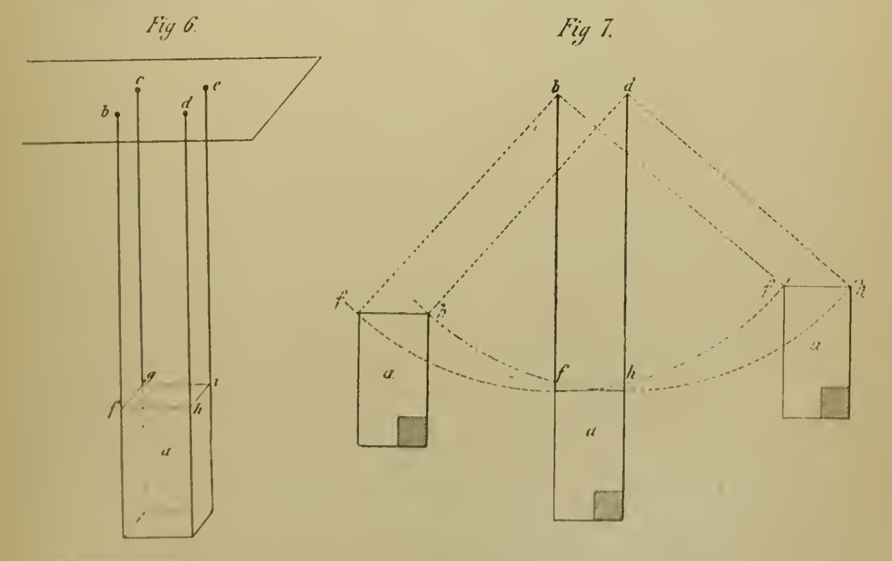
1) Loc. cit. p. 36.

C. Fortbewegung in der Schaukel ohne Drehung*).

Wir haben gesehen, dass man aus der Bewegung in der Schaukel keinen sicheren Schluss in bezug auf das Mass der Fortbewegungsempfindungen, geschweige auf ihren Sitz ziehen kann, weil diese Bewegung mit einer Drehung verbunden ist.

Um diesem störenden Umstande vorzubeugen, müsste man über Apparate verfügen können, welche eine reine Fortbewegung geben, deren Geschwindigkeit man messen und abstufen könnte. Das Hinabsteigen in tiefe Schachte mit bekannter Geschwindigkeit zu beobachten würde sehr nützlich sein. Das Studium der im Ballon gewonnenen Empfindungen, wenn der Apparat genau äquilibriert ist und von den Luftströmen ohne davon unabhängige Bewegungen zu haben fortgezogen wird, würde von äusserstem Interesse sein. Unglücklicherweise konnte ich über alles das nicht verfügen.

Es ist mir wenigstens gelungen, einen einfachen Apparat zu ersinnen, an welchem die Bewegung eine reine Fortbewegung ist und sich ohne Geräusch und ohne Erschütterungen mit einer vollkommenen Regelmässigkeit vollzieht und dessen Geschwindig-



*) Schaukel ohne Drehung nach Skizzen von Herrn Delage.

keiten und Beschleunigungen für jeden Punkt der Wurflinie berechnet werden können.

Dieser Apparat (Fig. 6) besteht aus dem vorher beschriebenen Kasten a welcher mit seinen Ecken an vier gleich langen Stangen [1]) aufgehängt ist. Die vier oberen Aufhängungspunkte (bcde) sind in einer horizontalen Ebene gelegen und begrenzen ein Viereck, welches kongruent mit dem der vier unteren Befestigungspunkten (fghi) ist. Unter diesen Bedingungen ist die obere Fläche des Kastens gezwungen während der ganzen Dauer der Bewegung der Ebene der oberen Aufhängungspunkte parallel zu bleiben, und da diese horizontal ist, so bleibt sie selbst horizontal und der Kasten bleibt vertikal ebenso wie die im inneren desselben plazierte Versuchsperson.

In diesem Apparat durchläuft die Versuchsperson allerdings eine gekrümmte Wurflinie, aber so, dass sie immer parallel zu sich bleibt. Sie ist also von einer reinen Fortbewegung ergriffen. Seine Wirkungen scheinen mir in bezug auf den uns beschäftigenden Punkt von denen einer gradlinigen Fortbewegung nicht verschieden sein zu können.

Ich habe diesem Apparat den Namen »Schaukel ohne Drehung« gegeben.

1. Normale Empfindungen.

Wenn die Exkursionsweite der Schwingungen nicht zu klein ist, so empfindet man vollkommen die Fortbewegung, man erkennt vollkommen die Richtung der Wurflinie und gibt sich sogar Rechenschaft über ihre Krümmung. Man gibt ohne grossen Fehler die vordere und die hintere Grenze der Bewegung an. Aber man schätzt die Grösse der Ortsveränderung weit unter ihrem Werte.

Lässt man die Schwingungen sich allmählich verlangsamen, so konstatiert man, dass, wenn der Winkel nur 2^0 beträgt (2^0 nach jeder Seite von der Vertikalen), die Empfindungen beinahe = Null werden. Das Beschleunigungsmaximum, welches dasjenige an den Grenzen der Bewegung ist, wird dann

$$g \cdot \sin\alpha = 981 \text{ cm} + \sin 2^0 = 34 \text{ cm}$$ [2]).

1) In der Praxis genügen Seile.

2) Die positiven oder negativen Beschleunigungen auf Eisenbahnen sind nicht

Aber bei grosser Aufmerksamkeit kann man die Fortdauer der Empfindungen feststellen, bis die Amplitude der Schwingungen auf $1^0 20'$ reduziert ist, was einem Beschleunigungsmaximum von ungefähr 23 cm entspricht.

Man erinnert sich, dass bei der gewöhnlichen Schaukel Schwingungen von 30' noch empfunden wurden.

Das vertikale Schaukeln mittelst eines an einem elastischen Seile aufgehängten Stuhles gibt dieselben Resultate, wie das horizontale Schaukeln.

Die Sache ist schwierig in genauer Weise zu berechnen, aber ich glaube, dass unser Körper nur im Anfange unserer Bewegungen und während einer sehr kurzen Zeit Beschleunigungen von mehr als 30 oder 40 cm in 1'' hat. Wenn wir also nur die Beschleunigungen allein empfänden, so würden wir unvollständige und ungenaue Kenntnis von den aktiven oder passiven Bewegungen haben, welche unserem Körper erteilt werden.

Aber ich glaube, es ist damit ebenso, wie mit den Drehbewegungen. Sie hören nicht auf wahrgenommen zu werden, wenn sie gleichförmig sind, ausser, wenn sie lange genug fortdauern. Die Bewegungen im gewöhnlichen Leben, häufig unterbrochen oder aus aufeinanderfolgenden Stücken von kurzer Dauer zusammengesetzt, müssen vollständig empfunden werden, welcher Art sie auch sein mögen, unter der einzigen Bedingung, dass sie nicht zu schwach sind.

Der direkte Beweis dieser Behauptungen ist sehr schwierig wegen des Fehlens eines komplizierten und sehr genauen Apparates; aber man kann dafür, wie für die Drehbewegungen, einen indirekten Beweis geben.

Lässt man sich eine so gleichförmige Fortbewegung wie möglich und von nicht zu langer Dauer erteilen, so empfindet

so sehr viel grosser, wie man versucht sein könnte zu glauben, als diejenigen unseres Apparates. Eine negative Beschleunigung von 34 cm pro 1'' würde genügen (angenommen, dass sie konstant wäre), um in 49'' und nach einer Zurücklegung von 408 M. einen Zug anzuhalten, welcher mit einer Geschwindigkeit von 60 Kilometer in der Stunde fährt. Es genügt, um sich davon zu überzeugen, $\gamma = 34$ cm und $V = 1066$ cm (Geschwindigkeit in 1'') in den Formeln $e = \frac{1}{2}\gamma t^2$ und $V = \gamma t$ der gleichmässig veränderten Bewegung zu setzen.

man sie immer ganz vollständig so, wie sie ist, was nicht der Fall sein würde, wenn man nur für sehr kleine Beschleunigungen empfindlich wäre, welche notwendig veränderlich, bald positiv, bald negativ sein müssen, welche uns der Gehilfe, ohne es zu wollen mitteilt.

Aus dem früher bezüglich der Drehbewegungen entwickelten Grunde würde ich nicht zugeben können, dass es sich dabei um die einfache Wirkung der Fortdauer der Empfindungen handelt, nachdem die Erregung aufgehört hat.

2. Täuschungen.

Die statischen Täuschungen zeigen sich vollkommen deutlich während der Fortbewegung und geben die Empfindung einer Ablenkung der Wurflinie.

Wenn wir in der Schaukel ohne Drehung unsere Augen stark nach rechts oder nach links richten ohne den Kopf zu wenden, so empfinden wir unmittelbar eine Ablenkung der Wurflinie um 10^0 bis 15^0 in demselben Sinne.

Die Erhebung oder Senkung der Augäpfel erzeugt entsprechende, aber wenig hervorstehende Wirkungen; die Wurflinie scheint nach vorn ansteigend, wenn man den Blick erhebt, absteigend in demselben Sinne, wenn man ihn senkt.

Es ist nicht nötig auf die Erklärung dieser Erscheinungen einzugehen. Merkwürdiger und unerwarteter Weise geben die Fortbewegungen keinen Anlass zu irgend einer dynamischen Täuschung.

In der Schaukel ohne Drehung, sogar während der weitesten Schwingungen veranlasst die Drehung des Kopfes um eine seiner Axen keinerlei Täuschung.

Um diese Thatsache deutlich hervortreten zu lassen, ist es zweckmässig, sich zunächst gegen einige Veranlassungen zu Irrtümern zu sichern. Wenn man den Kopf z. B. nach rechts wendet, so drehen sich die Augen, wie wir gesehen haben, instinktiv mehr als der Kopf und bewirken so die entsprechende statische Täuschung, d. h. die Wurflinie scheint nach rechts und vorn abgelenkt. Aber wenn man, während man den Kopf wendet, sich bemüht, den Augen ihre normale Richtung in bezug

auf den Kopf zu erhalten, so verschwindet alsbald die Täuschung, ohne durch eine andere ersetzt zu werden. Man kann sogar ohne die Stellung des Kopfes zu verändern, die Täuschung vermehren oder vermindern oder in ihrem Vorzeichen verändern durch die blosse Bewegung der Augäpfel.

Der Versuch gibt dieselben Resultate bei der Beugung des Kopfes nach hinten oder nach vorn.

Wenn man, anstatt sich stehend oder sitzend zu schaukeln, sich horizontal legt, so sind die Resultate eben dieselben, die Bewegungen der Augen rufen die beschriebenen Täuschungen hervor, aber diejenigen des Kopfes sind wirkungslos.

Ferner das plötzliche Anhalten einer sogar sehr schnellen Fortbewegung erzeugt keine Täuschung. Man empfindet den Stoss, das Anhalten, aber es entsteht in der Folge keine Empfindung einer Rückwärtsbewegung.

So ist also bewiesen:

26) Die Fortbewegungen werden, mögen sie gleichförmige oder beschleunigte sein, mit allen ihren Charakteren der Geschwindigkeit Grösse und Dauer, wenn diese letztere kurz ist, wahrgenommen.

27) Sind sie von langer Dauer, so hören sie auf, wahrgenommen zu werden, wenn ihre Bewegung gleichförmig ist. (Gesetz von Mach.)

28) Um leicht wahrgenommen zu werden, müssen die Beschleunigungen mehr als 30 bis 40 cm per 1'' betragen; die geringste wahrnehmbare Beschleunigung beträgt ungefähr 23 cm in 1''.

29) Die Fortbewegungen werden weniger genau wahrgenommen, als die Drehbewegungen; die geringste wahrnehmbare Beschleunigung muss beinahe dreimal stärker sein[1]*) als die letztere.*

30) Die statischen Täuschungen, welche durch die Ablenkung der Augäpfel hervorgebracht werden, dauern während der Fortbewegungen fort und lassen an eine Ablenkung der Wurflinie in ebendemselben Sinne glauben.

31) Die abnormen Kopfstellungen geben ebensowenig, wie das

1) Diese Beziehung ist gegeben durch die der Amplitüden der kleinsten wahrnehmbaren Schwingungen $\frac{1^0 20'}{0^0 30'} = \frac{8}{3}$ oder beinahe 3

plötzliche Anhalten Anlass zu dynamischen Täuschungen während der Fortbewegung.

IX. Sitz der Empfindungen bei Fortbewegung.

Die Thatsache, dass die abnormen Stellungen des Kopfes keinerlei Anlass zu Täuschung bei den Fortbewegungen geben, ist sehr wichtig, denn sie erlaubt zu schliessen, dass der Sitz der durch diese Bewegungen hervorgerufenen Empfindungen sich nicht im Kopfe, folglich auch nicht im inneren Ohre befindet.

Nehmen wir für einen Augenblick das Gegenteil an. Die halbzirkelförmigen Kanäle mit ihrer gekrümmten Form scheinen besser geeignet, die Drehbewegungen in Empfindungen umzuformen, als die Fortbewegungen: die letztere Rolle würde vielmehr dem Utrikulus zukommen. So ist die Sache von Mach aufgefasst worden. Uebrigens ist dies gleichgiltig für die Folge unserer Schlüsse.

Jede Fortbewegung des Kopfes muss zu einem Druck auf die entgegengesetzte Seite des Organes Anlass geben: und umgekehrt muss jeder Druck auf die Wand eine Empfindung der Fortbewegung in entgegengesetztem Sinne hervorrufen.

Wenn wir nach vorwärts bewegt werden, während der Kopf nach rechts gewendet ist, so entsteht der Druck auf der rechten Wand des Organes, und wir müssten die Empfindung der Fortbewegung nach links [1]) hin bekommen. Desgleichen müsste die Fortbewegung nach vorwärts mit gesenktem Kopfe die Empfindung einer ansteigenden Bewegung und so weiter geben. Kurz wir müssten, wie bei den Drehbewegungen, die Empfindung einer Ablenkung der Wurflinie in entgegengesetztem Sinne wie der Kopf haben. Aber der Versuch hat uns gezeigt, dass das nicht der Fall ist. Daher der Schluss, dass der Sitz der Empfindungen nicht im Utrikulus ist.

Eine analoge Schlussfolgerung würde zu beweisen gestatten,

---

1) Es macht wenig aus, ob man dabei weiss, wie sich der Eindruck nach der Macula fortpflanzt; der Kopf geht nach seiner anatomischen linken Seite und der Utrikulus muss notwendigerweise ebendieselben mechanischen Erregungen erfahren, als wenn der Körper sich nach links hin begibt, während der Kopf seine normale Lage bewahrt.

dass dieser Sitz sich weder in einem andern Teile des inneren Ohres, noch im Gehirn, noch in der subarachnoidalen Flüssigkeit, noch sonst in irgend einem Organe des Kopfes befindet.

So glaubt man bei den Drehbewegungen in dem Sinne sich zu bewegen, in welchem der Kopf sich in Beziehung auf seine morphologischen Axen bewegt; bei den Fortbewegungen glaubt man im Gegenteil sich dahin zu begeben, wohin man sich wirklich bewegt, welches auch die Wurflinie sein mag, welcher der Kopf in Beziehung auf diese nämlichen Axen folgt. Dies ist ein Hauptunterschied, welcher die Theorie derjenigen umstösst, welche in der mechanischen Formveränderung des Gehirns die Ursache unserer Bewegungsempfindungen zu finden suchen.

Ein Einwurf lässt sich indes machen.

Alle Empfindungstäuschungen haben ihren Ursprung in einer ungenügenden Erziehung unserer Sinne, und sie würden nicht entstehen, wenn diese durch die gleichzeitige Erfahrung und Uebung der anderen Sinne eine vollständigere Erziehung erhalten hätten. So würden wir, wenn wir nach vorwärts bewegt werden, indem der Kopf nach rechts gewendet ist, die richtige Empfindung einer sagittalen Bewegung haben, wenn wir ausreichend gewöhnt wären, zu erkennen, dass die modifizierten Empfindungen des Utrikulus einer sagittalen Bewegung entsprechen, so oft sie mit dieser Stellung des Kopfes verbunden sind.

Dasselbe gilt für alle übrigen Täuschungen.

Jedem Zustande der Drehung oder Beugung des Kopfes, welche dem Sensorium durch die Kontraktion der Halsmuskeln übermittelt wird, würde eine besondere Auslegung der Erregungen des Labyrinthes während der Fortbewegung entsprechen. Diese Auslegung würden wir in unserer Kindheit für jeden besonderen Fall gelernt haben durch den Gesichts- und den Tastsinn und die Berichtigung der Empfindungen des Labyrinthes durch die Muskelempfindungen würde auch jetzt von selbst und ohne unser Wissen vor sich gehen.

A priori scheint diese Theorie sehr wahrscheinlich, denn man fragt sich, warum die Erziehung der Empfindungen unseres Labyrinthes so vollständig sein sollte für die Fortbewegung,

dass sie für Täuschungen keinen Raum liesse, während sie für die Drehbewegungen, von denen wir viel feinere Empfindungen haben, so unvollkommen sind, dass erhebliche Täuschungen stattfinden können. Man sieht in keiner Weise, worin der Grund zu einem solchen Unterschiede liegen könnte, denn die Drehbewegungen sind ebenso häufig und nützlicher für unsere Wahrnehmung als die Fortbewegungen.

Aber man kann durch den Versuch die Unrichtigkeit einer derartigen Theorie und in weiterer Folge die Nichtigkeit eines Einwandes, welcher sich auf dieselbe stützen würde, beweisen.

Wenn wirklich unsere Auslegung der Erregungen des Utrikulus modifiziert wird durch den Kontraktionszustand unserer Halsmuskeln, so müssen wir eine Täuschung hervorbringen, wenn wir diese Muskeln sich kontrahieren lassen, ohne dem Kopfe zu gestatten, ihrer Wirkung Folge zu leisten, denn dann würde die berichtigende Modifikation trotzdem sich geltend machen.

Es genügt dazu, sich von rechts nach links schaukeln zu lassen, während man zu gleicher Zeit den Kopf in der Normalstellung hält, indem man dem Zuge einer Schnur Widerstand leistet, welche ihn nach rechts oder links zu drehen sucht. Die Muskeln befinden sich in der That in demselben Kontraktionszustande, als wenn sie den Kopf stark nach ihrer Seite gezogen hätten.

Aber es entsteht keine Täuschung. Also:

31) Wie auch der Kontraktionszustand der Halsmuskeln sein möge, die Fortbewegung wird immer so, wie sie ist, ohne Täuschung wahrgenommen.

Der Art, dass man sagen muss:

32) Es lässt sich aus einer besonderen Erziehung der Empfindungen des Labyrinthes die Thatsache nicht erklären, dass bei der Fortbewegung die abnormen Kopfstellungen keine Täuschungen über die Richtung der Wurflinie hervorbringen.

Woraus der schon angegebene Schluss folgt, auf welchen wir zurückkommen müssen, indem wir mit grösserem Nachdruck den Satz aussprechen:

33) Die Empfindungen, welche durch die Fortbewegung her-

vorgebracht werden, haben ihren besonderen Sitz nicht im Kopfe, und folglich weder im Utrikulus noch in irgend einem anderen Teile des häutigen Ohrlabyrinthes.

Ich will damit nicht sagen, dass das innere Ohr den Empfindungen der Fortbewegung völlig fremd wäre [1]), sondern nur, dass der Utrikulus nicht in der Art das spezielle Organ für diese Empfindungen ist, wie es die halbzirkelförmigen Kanäle für die Drehempfindungen sind.

34) Die Empfindungen der Fortbewegung sind wahrscheinlich allgemeine, hervorgebracht durch einen Druck der Flüssigkeiten des Organismus gegen die Gefässe und die Wandungen ihrer Behälter, durch einen Zug der verschiedenen Eingeweide an ihren Anheftungsstellen und an ihren eigenen Teilen, und vielleicht durch eine Wirkung auf die benachbarten nervösen Organe, wie z. B. die plexus; mit einem Worte, durch eine Art von Ebbe- und Flutbewegung aller Teile unseres Organismus, welche einige Beweglichkeit haben.

Wie man sieht, komme ich nur auf dem Wege des Ausschlusses zu diesem Satze, dessen direkter Nachweis mir zurzeit nicht möglich scheint, denn eine verschwommene Empfindung, deren Sitz überall und nirgends ist, scheint sich dem Versuchsverfahren zu entziehen. Diese Bemerkung rechtfertigt ausreichend die zweifelhafte Form, in welcher mich auszudrücken ich für klug gehalten habe.

Mach hat jedoch den Beweis zu liefern gesucht, dass der Druck des Blutes gegen die dem Sinne der Bewegung entgegengesetzten Gefässwände keine Fortbewegungsempfindung gäbe durch folgenden Versuch. Er legt sich leicht bekleidet auf ein Brett und lässt unter sich eine mit Wasser von Körpertemperatur gefüllte Badewanne erheben. Er bekommt die Empfindung einer Verminderung des Körpergewichtes, aber nicht die der Bewegung. Dieser Versuch scheint mir nicht zu dem

1) Gewisse, allerdings seltene Symptome der Ménière'schen Krankheit, Schwindelempfindungen des Fortgerissenwerdens in die Lüfte, und Versinken des Bodens unter den Füssen scheinen anzuzeigen, dass dieser Ausspruch zu absolut sein dürfte. Aber das vorherrschende Symptom dieser Krankheit ist nichtsdestoweniger der Drehschwindel.

Schlusse zu berechtigen, den er daraus zieht, denn den Drücken des Blutes gegen die Gefässwandungen ist keine Veränderung erteilt worden, besonders nicht in den tiefen Gefässen, welche bei weitem die zahlreichsten und grössten sind.

Ich werde meinerseits der Mach'schen Theorie einen Einwurf machen, welcher mir besser begründet scheint. Nach seiner Hypothese über die Art des Funktionierens des Organs gibt jede Beschleunigung Anlass zu einer augenblicklichen Erregung, deren Wirkungen noch fortdauern, nachdem sie aufgehört hat. Ist es so, dann mus man nach dem plötzlichen Anhalten einer andauernden Fortbewegung, sowie nach demjenigen einer Drehbewegung die Empfindung einer Bewegung in umgekehrtem Sinne verspüren. Wir haben gesehen, dass das nicht der Fall ist. Man hat die Empfindung des Stosses, dann die einer vollkommenen Bewegungslosigkeit.

X. Funktionen der halbzirkelförmigen Kanäle.

Hier endigt die Darstellung unserer Untersuchungen.

Wir haben durch ein neues Untersuchungsverfahren das schwierige Studium der Empfindungen von der Richtung und Bewegung in Angriff genommen und wir glauben zu einigen sicheren Schlüssen gelangt zu sein. Wir würden berechtigt sein, hier Halt zu machen, denn die Erörterung der Versuche mit Durchschneidung der halbzirkelförmigen Kanäle und die der verschiedenen Theorien, welche in betreff dieser Organe aufgestellt worden sind, gehört nicht in unser Programm.

Nichtsdestoweniger können wir nicht dem Verlangen widerstehen, einige Beobachtungen über diesen Gegenstand zu machen, aber es liegt uns daran, den Unterschied zwischen den folgenden Seiten und dem ersten Teile unserer Arbeit scharf abzugrenzen. Vielleicht habe ich hier einige neue Thatsachen und Beweisgründe beigebracht, deren Tragweite der Leser würdigen wird; aber das Ganze ist hauptsächlich eine kritische Studie, welche nicht den Wert einer Reihe positiver Thatsachen haben kann.

Wir haben in den vorstehenden Kapiteln nachzuweisen gesucht, dass allein die Drehbewegungen von dem häutigen Labyrinthe empfunden werden. Man wird nicht verfehlen einzuwerfen,

wie unwahrscheinlich es ist, dass die Drehempfindungen ein besonderes Organ haben, die Empfindungen der Fortbewegung aber allgemeine und ausgebreitete sein sollen.

Die Sache kann eigentümlich und braucht doch nicht unmöglich zu sein, und vielleicht wird sie weniger erstaunlich scheinen, wenn ich meine Gedanken werde auseinandergesetzt haben.

Eine erste Thatsache zu gunsten meiner Meinung ist die, dass die Drehempfindungen viel feiner sind, als die der Fortbewegung. Wir haben gesehen, dass das Minimum der Wahrnehmbarkeit in der gewöhnlichen Schaukel einer fast dreimal so kleinen Beschleunigung entsprach als in der Schaukel ohne Drehung.

Bemerken wir ausserdem, dass die Bewegungen der Drehung, welche von unserm Körper ausgeführt werden, bei weitem am wichtigsten für eine genaue Wahrnehmungsweise sind, denn sie sind die einzigen, welche seine Gleichgewichtslage beeinflussen können.

Andererseits scheinen, während die Täuschungen bei der Drehung gestatten, mit Sicherheit die entsprechenden Empfindungen in den Kopf zu verlegen, die Empfindungen der Fortbewegung allgemeine zu sein. Mach sogar, welcher sie in den Utrikulus verlegt, erkennt dies an; »Man hat die Empfindung der Beschleunigung auch im Kopfe, doch schien es mir bei diesen Versuchen mehr wie bei den vorigen, dass man die Empfindung im ganzen Körper habe und zwar in den tiefstgelegenen Teilen am meisten«[1]. v. Cyon scheint etwas ähnliches verspürt zu haben, als er über die russischen Gebirge fuhr*).

Endlich liegt, wenn die Drehempfindungen ein besonderes Organ haben, dies hauptsächlich daran, dass dieses Organ ausserdem eine Funktion zu haben scheint, welche notwendig den Drehungsempfindungen beigesellt sein musste, aber unnütz war bei den Fortbewegungen.

Ich meine die kompensatorischen Bewegungen der Augäpfel.

1) Loc. cit. p. 33.

*) [von Cyon. Gesammelte physiologische Arbeiten S. 301]

Von allen Versuchen der bemerkenswerten Arbeit von von Cyon ist in meinen Augen folgender der wichtigste: »Die Reizung jedes halbzirkelförmigen Kanals [1]) ruft pendelnde Augapfelbewegungen hervor, deren Richtung durch die Wahl des gereizten Kanales bestimmt wird.« Und weiterhin scheint er anzunehmen, dass die durch die Bewegungen des Kopfes hervorgerufenen Reizungen der Kanäle die Ursache der kompensatorischen Augenbewegungen sind. Aber anstatt aus diesen Prämissen den natürlichen Schluss zu ziehen, sucht er fortgerissen von seiner sonderbaren Auffassung vom Raumsinne die angegebene Beziehung durch die Nützlichkeit eines funktionellen Zusammenhanges zwischen demjenigen Sinne, welcher uns die Vorstellung des Raumes gibt, mit demjenigen, welcher uns die Anordnung der Objekte im Raume angibt, zu erklären [2]).

Es scheint mir natürlicher anzunehmen, dass die halbzirkelförmigen Kanäle zu derselben Zeit, wo sie uns über die von dem Kopfe ausgeführten Bewegungen unterrichten, auch durch Reflexthätigkeit, wie Breuer sich gedacht zu haben scheint, die kompensatorischen Augenbewegungen hervorrufen, welche unentbehrlich sind, um die Gesichtstäuschung einer Drehung des umgebenden Raumes zu verhindern. Die halbzirkelförmigen Kanäle würden zugleich ein besonderes Empfindungsorgan und ein excitomotorischer Apparat sein, welcher bestimmt ist, die

---

1) Es handelt sich dabei um die experimentelle Reizung des freigelegten Kanales *).

2) Ich gebe hier wörtlich den nach meinem Gefühl sehr dunklen Satz, in welchem der Verfasser seine Gedanken über diesen Punkt auseinandersetzt: »Aber nach den Beobachtungen über die Beziehungen zwischen den Bogengängen und den Innervationszentren der Augenmuskeln lässt sich kaum bezweifeln, dass der Mechanismus, vermöge dessen die Augäpfel den Abänderungen der Kopfhaltung folgen, auf den angegebenen Beziehungen beruht.«

»Unsere Hypothese, dass es die Kopfbewegungen sind, welche den ersten Anstoss zur Erregung der in den Kanälen verteilten Nervenendigungen geben, findet so eine neue Stütze.«

»Wir sehen also, dass die Organe, welche uns dazu dienen, die räumliche Anordnung der Gegenstände zu unterscheiden, sowie die Beziehungen unseres Körpers zu diesen Gegenständen zu bestimmen, in funktionellem Zusammenhange mit demjenigen Organe stehen müssen, welchem wir als Funktion die Bildung unserer Raum-Vorstellungen beilegen.« [von Cyon ibid. S. 335].

*) [von Cyon ibid S. 310.]

kompensatorischen Bewegungen der Augäpfel [1]) hervorzurufen und zu regulieren.

Laborde [2]) hat einen Gedanken dieser Art gehabt, aber er hat angenommen, dass die excitomotorischen Impulse des Organes »die durch den Ton-Eindruck hervorgerufene Orientierung« bestimmen. Die Beweisführung Laborde's ist fehlerhaft in ihrer Grundlage. Der Verfasser nimmt ohne Nachweis an, dass die Tonschwingungen das Erregende für die Ampullen-Empfindungen sind. Diese Hypothese ist der Schlussstein seiner Theorie und er hat nicht das Recht, sie ohne Beweis den zahlreichen Physiologen aufzubürden, welche im Gegenteil glauben, dass die Bewegungen des Kopfes die normalen Erreger dieser Empfindungen sind. Im übrigen spricht sich Laborde über die Art und Weise der Wirkung des Apparates nicht aus.

Hier ist wörtlich der Ausspruch dieses Autors; »In der Specificität, das heisst in dem, was den Sinn des Hörens betrifft, ist es nicht zweifelhaft, dass seine vollständige und vollkommene funktionelle Thätigkeit nicht zu einer entsprechend angepassten Bewegung des Kopfes oder selbst des ganzen Körpers nötigt, indem sie die Anpassung oder um das richtige Wort zu gebrauchen, die durch den Toneindruck hervorgerufene Orientierung gestattet; also, der halbzirkelförmige Apparat mit seinen zentralen Strukturverbindungen stellt den sensitiv — motorischen Apparat dar, welcher so gut wie möglich der unmittelbaren und schnellen Hervorbringung von zugleich unbewussten und koordinierten Bewegungen angepasst ist, weil sie sich in Abhängigkeit von dem organischen Zentrum des motorischen Gleichgewichts befinden [3]).

Wenn ich seinen Gedanken richtig verstehe, so nimmt Laborde an, dass die Bewegungen des Kopfes und des Körpers,

1) Indem ich diesen Ausdruck gebrauche, will ich damit keineswegs die Auffassung Marshall-Hall's wieder aufnehmen. Ich will damit nur sagen, dass der Reflex, welcher die Bewegungen der Augen hervorruft, seinen Ausgangspunkt in den halbzirkelförmigen Kanälen hat.

2) Essai d'une détermination expérimentale et morphologique du rôle fonctionnel des canaux semi-circulaires (Bulletins de la société d'anthropologie 1. Decembre 1881).

3) Loc. cit. p. 30 et 31.

welche durch einen Gehörseindruck hervorgerufen werden, reflektierte sind, und dass ihre Richtung bestimmt wird durch die halbzirkelförmigen Kanäle. Es ist in diesem Falle durchaus notwendig, dass die Kanäle in verschiedener Weise je nach der Richtung, von welcher der Ton kommt, erregt werden.

Dies ist eine Hypothese, welche mir schwierig zu beweisen scheint. Sie erinnert an die alte Ansicht, dass die halbzirkelförmigen Kanäle uns dazu dienen, die Richtung der Töne zu erkennen, eine heutzutage aufgegebene Ansicht, zu deren Gunsten man niemals einen ernsthaften Grund beigebracht hat.

Die Wirkung der halbzirkelförmigen Kanäle auf die Bewegungen der Augen ist im Gegenteile von v. Cyon durch die experimentelle Reizung bei Kaninchen nachgewiesen worden und ich glaube imstande zu sein, die Thatsache beim Menschen und für physiologische Reize bestätigen zu können mit Hilfe folgender Beobachtung:

Es handelt sich um den Purkinje'schen Schwindel.

Nennen wir kurzweg direkte Drehung diejenige, welche im Sinne eines Uhrzeigers stattfindet und verkehrte die in entgegengesetztem Sinne.

Bei dem Versuch von Purkinje scheint uns, während wir uns im direkten Sinne drehen, der Raum von einer verkehrten Bewegung ergriffen; nach dem Anhalten scheint er ebenso im verkehrten Sinne sich zu bewegen. Dies scheint unfassbar und unvereinbar mit der so deutlichen Empfindung der verkehrten Drehung, welche wir bei geschlossenen Augen haben, denn wenn wir die Empfindung haben, als drehten wir uns im verkehrten Sinne, so müsste der Raum sich im direkten Sinne zu bewegen scheinen.

Die Erklärung dieser Erscheinung ergibt sich aus der Richtung des Nystagmus.

Bei dem Nystagmus sind die Augäpfel von zwei wohl unterschiedenen Bewegungen ergriffen: 1. einer kompensatorischen, verhältnismässig langsamen Bewegung, während welcher die Bilder auf der Netzhaut der Art vorübergehen, dass sie an eine Bewegung des Raumes in verkehrtem Sinne glauben lassen; 2. einer raschen Bewegung in einem der ersteren entgegenge-

setztem Sinne von so grosser Geschwindigkeit, dass das Vorübergehen der Bilder auf der Netzhaut keine Empfindung von Bewegungen hervorruft. Die erstere dieser Bewegungen ist es, welche die Richtung des Nystagmus bestimmt.

Während unser Körper von einer direkten Drehbewegung ergriffen ist, würde uns, wenn unsere Augen in ihren Höhlen festständen, der Raum sich im umgekehrten Sinne zu drehen scheinen. Aber es entsteht ein umgekehrter Nystagmus, welcher uns die Empfindung der Drehung des Raumes im direkten Sinne gibt. Diese beiden subjektiven Empfindungen haben entgegengesetzte Vorzeichen. Der Nystagmus richtet sich mit seiner Geschwindigkeit nach der des Körpers, und wenn beide Geschwindigkeiten gleich werden, so sind die beiden subjektiven Empfindungen auch einander gleich und heben sich auf. Der Raum scheint uns in Ruhe zu sein. Dreht sich der Körper ein wenig schneller, so kann der Nystagmus nicht folgen und es bleibt eine abgeschwächte aber sehr deutliche subjektive Empfindung, als ob der Raum sich im umgekehrten Sinne drehte. Das ist es in der That, was man empfindet.

Nach dem Anhalten der wirklichen Drehbewegung entsteht augenblicklich, wie ich mich überzeugt habe, ein direkter Nystagmus, welcher die Täuschung einer Drehung des Raumes im umgekehrten Sinne und folglich in ebendemselben Sinne wie vor dem Anhalten entstehen lässt. Dieser Nystagmus, völlig unnütz, statt wie der erste vorteilhaft zu sein, ist es, welcher den Gesichtsschwindel in dem Purkinje'schen Versuche verursacht.

So ist nach meiner Auffassung die Erklärung der Erscheinungen.

Aber die wichtige Thatsache, welche ich gern klar legen möchte, ist die plötzliche Umkehr des Nystagmus im Momente des Anhaltens, das heisst genau in dem Momente, wo die Erregungen des Labyrinthes in ihrem Sinne wechseln. Er scheint mir anzuzeigen, dass die physiologischen Erregungen der halbzirkelförmigen Kanäle die kompensatorischen Bewegungen der Augäpfel bestimmen und regulieren, wie es Breuer angenommen hat.

Es wäre nicht unmöglich, dass diese Bewegungen der Augäpfel als Mittelglied für die Empfindung der Drehung des Kopfes dienen könnten, aber ich glaube, dass die Kanäle fähig sind, sie selbständig zu liefern, denn die Unbeweglichkeit der Augen hebt sie nicht auf.

Die excitomotorische Wirkung der Kanäle beschränkt sich nicht nur auf die Augen. Bei dem Purkinje'schen Schwindel entsteht nach dem Anhalten nicht allein ein Nystagmus und Gesichtstäuschungen, sondern auch Bewegungen des ganzen Körpers in dem Bestreben, das Gleichgewicht zu erhalten.

Diese allgemeine excitomotorische Wirkung scheint mir durch alle Versuche mit Verletzung der Kanäle bekräftigt zu werden. Die beschriebenen Erscheinungen scheinen mir in zwei Gruppen geordnet werden zu können, indem man, wohlverstanden, nur diejenigen berücksichtigt, bei denen das kleine Gehirn nicht getroffen ist:

1. Die Verletzungen von geringer Tiefe (Einstich, Schnitt), gleichwertig einer sehr starken Reizung des Organes mit funktioneller Störung, rufen erhebliche Bewegungen des Kopfes und Körpers, begleitet ohne Zweifel von sehr intensiven Drehschwindelempfindungen hervor.

2. Die sehr tief gehenden Verletzungen (Zerstörung, Ausreissen der Kanäle, Durchschneidung des Gehörsnerven) gleichwertig einer ungeordneten, vorübergehenden, von Untergang der Funktionen begleiteten Reizung, welche heftige Erregungsbewegungen hervorrufen, die in kurzer Zeit einer grossen Unsicherheit des Gleichgewichtes und der Ortsbewegung Platz machen.

Unter physiologischen Bedingungen würden also die halbzirkelförmigen Kanäle zur Erhaltung des Gleichgewichts und zur Regulierung der Ortsbewegung dienen, indem sie uns von den geringsten unpassenden Bewegungen, welche der Körper (mit Einschluss des Kopfes) ausführt, benachrichtigen, und auf dem Wege des Reflexes die berichtigenden Muskelzusammenziehungen hervorrufen, bevor diese Bewegungen eine wahrnembare Grösse erreicht haben und das Bewusstsein Zeit gehabt hat, ins Mittel zu treten.

Unsere Ansicht über diese Thatsachen zusammenfassend, würden wir sagen:

35) Die halbzirkelförmigen Kanäle sind zugleich: 1. ein sensibles Organ, welches uns über die von unserem Kopfe, und im Anschlusse daran von der Gesamtheit unseres Körpers ausgeführten Drehbewegungen unterrichtet; 2. ein excitomotorisches[1] *Organ, welches auf dem Wege des Reflexes einerseits die kompensatorischen Bewegungen der Augäpfel hervorruft, welche bestimmt sind, die Gesichtstäuschungen zu verhindern, andererseits die berichtigenden Muskelbewegungen hervorruft, welche die Erhaltung unseres Gleichgewichtes und die Berichtigung unserer Bewegungen im ganzen sichern.*

Indem die halbzirkelförmigen Kanäle diese Hauptfunktionen erfüllen, können sie uns nebenbei andere Dienste leisten. Sie tragen ohne Zweifel dazu bei, uns indirekt über die Lage unseres Kopfes in bezug auf seine Axen zu unterrichten, nicht durch eine statische Empfindung, sondern durch die Erinnerung an die Drehbewegung, welche behufs Veränderung der Stellung von demselben (dem Kopfe) ausgeführt worden ist. Endlich sind sie nicht ohne Einfluss auf die Fähigkeit, ohne zu grossen Fehler die Richtungen des Raumes wiederzufinden, wenn unser Kopf seine Lage verändert hat, weil sie es sind, welche die Bewegungen der Augäpfel hervorrufen, durch welche wir die Veränderungen der Kopfstellungen messen.

Was die behauptete Fähigkeit, die Richtung im Raume zu erkennen, welche in den Kanälen ihren Sitz haben soll, betrifft, so ist sie nach meiner Meinung reine Einbildung.

Wir haben weiter oben (S. 12) gesehen, dass manche Autoren gesucht hatten, in die halbzirkelförmigen Kanäle die ausserordentliche Orientierungsfähigkeit zu verlegen, welche verschiedene Tiere besitzen. Dieser Gedanke scheint sich auf eine wenig wissenschaftliche Weise durch die kühne Anwendung einer missverstandenen Theorie gebildet zu haben. Die Ausdrucke: »Sinn der Orientierung, Sinn der Richtung, Empfindung des Raumes«, geschaffen bei Gelegenheit der Theorien von Goltz, Breuer, von Cyon sind auf eine völlig missbräuchliche Weise gedeutet worden, als ob sie die Existenz eines Sinnes in sich schlössen, mittelst dessen wir uns im Raume orientieren

1) Siehe Anm. 1 auf S. 99.

könnten, was jenen Autoren nie in den Sinn gekommen ist. Man ist so dahin gelangt, in den halbzirkelförmigen Kanälen in dieser Hinsicht eine Art von geheimnisvollem Sinne zu sehen, welcher uns, ohne uns zu sagen, warum, über die einzuschlagende Richtung belehrt, d. h. daraus eine Art instinktiven Orientierungsorganes zu machen!!

In Wirklichkeit würde die einzige Art, das Spiel des Organes wissenschaftlich aufzufassen, die sein, anzunehmen, dass es uns die geringsten Drehbewegungen, welche während einer langen Reise vollzogen werden, erkennen lässt, uns gestattet, daraus die algebraische Summe zu ziehen und so am Schlusse die Richtung des Ausgangspunktes wiederzufinden. Und ausserdem müsste man annehmen, dass es von dem auf jeder der einander folgenden Richtungen zurückgelegten Wege Rechenschaft geben könnte.

Und dies kann ganz gewiss geschehen, aber unter der Bedingung, dass die Drehbewegungen genügend gross sind, um empfunden werden zu können und dass wir sie mit ununterbrochener Aufmerksamkeit analysieren. Die geringste Unachtsamkeit, ein einziger Augenblick des Vergessens — und wir sind verloren.

Wenn wir auf der Eisenbahn fahren, so wechseln wir die Richtung von Norden nach Süden, ohne es erkennen zu können, selbst bei der grössten Aufmerksamkeit, wenn die durchlaufene Kurve einen genügend grossen Halbmesser hat; und wenn wir zerstreut sind, so können viel schnellere Wechsel unbemerkt an uns vorübergehen.

Ich bleibe bei der Ueberzeugung, dass die Brieftauben in dem Augenblick, wo man sie loslässt, vollkommen desorientiert sind. Andere haben auseinandergesetzt, wie sie dazu gelangen, sich mittelst eines ausserordentlichen Vermögens ihres Gesichtes zurechtzufinden, indem sie sich zu Höhen erheben, welche ihnen gestatten, einen unermesslichen Gesichtskreis zu umfassen, und Dank ihrer Kenntnis, welche sie auf ihren täglichen Ausflügen von den Umgebungen ihres gewohnten Aufenthaltes bis zu beträchtlichen Entfernungen erlangt haben.

Weit von seinem Lager unter ähnlichen Bedingun-

gen fortgeführt, würde ein Hund gewiss nur nach einer genügend langen Zeit dahin gelangen, sich zurechtzufinden, nachdem er lange Orientierungsläufe in verschiedenen Richtungen auf gut Glück gemacht hätte. Und dabei helfen ihm seine Geruchsempfindungen, von denen er einen Nutzen zu ziehen versteht, welchen wir kaum ahnen können.

Ebenso ist es mit den Jägern oder Touristen, welche einen ganzen Tag lang ein unbekanntes Land durchstreifen und auf einem ganz anderen Wege wieder zu dem Ausgangspunkte zurückkommen können, mit Hilfe der Vorsichtsmassregel, allen Veränderungen der Richtung Rechnung zu tragen, bei jeder derselben die Länge des zurückgelegten Weges zu schätzen und so viel wie möglich Merkzeichen auf den einander folgenden Gesichtskreisen, welche sich vor ihnen ausbreiten, zu nehmen.

Wir haben vor dem Abschlusse nur noch die Theorien von von Cyon zu besprechen, welcher in dem Apparat der halbzirkelförmigen Kanäle den Sinn finden will, welcher uns unbewusste Empfindungen besonderer Art liefert, mittelst deren sich in uns die Vorstellung des Raumes bildet.

Das aufmerksame Lesen der Arbeit von von Cyon hat uns keineswegs einen direkten Beweis seiner Meinung ergeben, nicht einmal eine einzige Thatsache, welche durch seine Theorie und durch sie allein erklärt wird. Alle seine Versuche lassen sich ebensogut sowohl durch stürmische Drehungsempfindungen und ungeordnete excitomotorische Antriebe bei Reizung, als durch die Abwesenheit dieser nämlichen Empfindungen und Antriebe bei Fällen von Lähmung erklären.

Dieser Grund würde für sich allein ausreichen, um uns seine Theorie zurückweisen zu lassen. Aber wir haben noch andere Gründe, welche nicht wie der angegebene rein negativ sind.

Wenn die Kanäle das peripherische Organ des Raumes sind, so muss von Cyon anderswo hin und in den Kopf die Drehungsempfindungen verlegen. Ich glaube, dass es ihm schwer werden wird, ein anderes Organ zu finden, dessen ana-

tomische und histologische Struktur von den beobachteten Thatsachen Rechenschaft geben kann [1]).

Die Vorstellung des Raumes scheint zu denjenigen zu gehören, welche einmal erworben, nicht wieder erneuert zu werden brauchen. Wenn wir nach einem langen Schlafe erwachen ohne die Augen zu öffnen, so bedürfen wir keiner Bewegung des Kopfes, um in uns die Vorstellung des Raumes aufzufrischen. Wir können uns keine Rechenschaft davon geben, wo wir sind, aber das ist ganz etwas anderes und es sind nicht die Bewegungen des Kopfes, welche es uns lehren. Ich sehe also nicht ein, warum diese Vorstellung des Raumes nicht unbegrenzt fortbestehen könnte, ohne durch die Benachrichtigungen eines besonderen Sinnes erneuert werden zu müssen. Was soll ein bleibendes Organ unter diesen Umständen nützen, statt eines vergänglichen Organes, wie die Thymus?

Wenn, im Gegenteile, diese Vorstellung immerfort erneuert werden muss, so verstehe ich nicht, wie die Kaninchen und Tauben, denen von Cyon die Gehörsnerven durchschnitten oder das häutige Labyrinth ausgerissen hat, nach ihrer Heilung dahin haben gelangen können, sich aufrecht zu halten und zu gehen. Welche Fähigkeit der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts und der Ortsbewegung kann ein Wesen bewahren, bei welchem die Vorstellung des Raumes plötzlich unterdrückt worden ist? Ich übergebe dieses Problem dem Nachdenken der Philosophen.

Alles erklärt sich dagegen, wenn das Tier nur des Bewusstseins seiner Drehbewegungen beraubt ist, welche sein

---

1) von Cyon ist, wie es mir scheint, geneigt zu denken, dass dieses Organ das Gehirn ist. In diesem Falle wird er die Einwürfe auf S. 65 und 92 zu beantworten haben. Ich lege besonderen Wert auf die letzteren. Nehmen wir an, man erteile uns eine Bewegung nach vorn in der Medianebene unseres Körpers, bei nach rechts gewendetem Kopfe. In Wirklichkeit geht das Gehirn nach seiner linken Seite und die auf dieses Organ ausgeübte mechanische Wirkung ist genau eben dieselbe, als wenn man uns eine Bewegung nach der linken Seite erteilt bei normaler Stellung unseres Kopfes. Wie soll man es alsdann verstehen, wenn das Gehirn das Organ unserer Empfindungen wäre, dass wir glauben, nach der linken bewegt worden zu sein, wenn es sich um eine Drehbewegung handelt, und grade nach vorn, wenn es sich um eine Fortbewegung handelt?

Körper ausführt, und der excitomotorischen Antriebe, welche wir früher definiert haben. Jede richtige Bewegung wird ihm unmöglich, bis es aus seinen Gesichtsempfindungen und Muskelempfindungen so viel Nutzen zu ziehen gelernt hat, um sich von seinen unfreiwilligen Bewegungen Rechenschaft zu geben und sie nach Bedürfnis zu berichtigen. Aber das ist eine ganz von vorn wieder anzufangende Erziehung; das Tier benimmt sich, nach der Beschreibung von Cyon's selbst, als ob es »anfinge gehen und sich aufrecht halten zu lernen«; und niemals gelangt es dahin, die ursprüngliche Bestimmtheit und Richtigkeit seiner Bewegungen wiederzugewinnen, weil es dieselben nach den Angaben von Organen reguliert, welche zu diesen Funktionen wenig geeignet sind.

Ausserdem scheint mir die Hypothese von einem besonderen Sinne für den Raum etwas unnützes. Diejenigen, welche in der Vorstellung des Raumes eine reine Vorstellung sehen, werden sie ungenügend finden; diejenigen, welche glauben, dass sie sich in uns mit Hilfe unserer Empfindungen hat bilden können, werden sie überflüssig finden. Wenn von Cyon dieser Meinung nicht ist, so bitte ich ihn, mir den besonderen Sinn für die Zeit nachzuweisen, für welche die Vorstellung völlig der für den Raum vom metaphysischen Standpunkte aus vergleichbar ist.

Die Empfindungen der halbzirkelförmigen Kanäle haben keine andere besondere Eigenschaft, um uns die Auffassung des Raumes nach drei Dimensionen zu erleichtern, als sich gleich den Richtungen unserer Bewegungen zu verändern. Und so behaupte ich, dass ein Mensch, welcher sich nackt in der Luft bewegt und, der Richtung seiner Bewegungen gemäss, den Eindruck der kalten Luft auf verschiedenen Teilen seines Hautüberzuges erhält, sich, vom Gesichtspunkte der Erwerbung der Raumvorstellung aus, auf denselben Punkt durch diese Tast- und Wärmeempfindungen gebracht fühlt, wie durch diejenigen seiner halbzirkelförmigen Kanäle. Man kommt so auf den Satz zurück, dass die bewussten Tastempfindungen an sich die Fähigkeit haben, uns den Raum ebensogut auffasen zu lassen, und sogar besser, als die unbewussten Empfindungen von Cyon's.

Ich möchte hier nicht eine philosophische Diskussion über den Ursprung der Vorstellung vom Raume eröffnen, aber ich werde mit einigen Worten sagen, wie ich mir die stufenweise Entwickelung desselben vorstelle.

Von vornherein erkläre ich, dass ich mich nicht an diejenigen wende, welche diese Vorstellung als eine angeborene ansehen. Ich werde sie ebensowenig überzeugen, wie sie mich überzeugen würden. Nach meiner Ansicht setzt ihre Theorie eine grössere Schwierigkeit an die Stelle einer geringeren. Im Prinzip annehmen, dass die Vorstellung des Raumes unzerlegbar ist und nicht aus Elementen, welche ihrer Natur fremd sind, bestehen kann, heisst die offenbare Gewissheit im Namen der Metaphysik zurückweisen. Der allgemeine Skeptizismus von Berkeley und Hume ist ebenso unwiderlegbar, als eine Behauptung dieser Art und doch nehmen wir ihn nicht an, weil die Aussenwelt uns zum Trotz sich uns aufdrängt. Der Hauptgrund der Nativisten ist wertlos, denn für den, welcher den Dingen auf den Grund gehen will, sind alle unsere Empfindungen ebenso verschieden von den äusseren Objekten, welche sie hervorbringen, als der Raum es für diejenigen Empfindungen sein kann, welche uns die Vorstellung davon geben.

Mit unserem ganz entwickelten Verstande können wir den Raum an und für sich auffassen, als notwendig und unendlich, unabhängig von den Objekten in ihm; aber in dieser abstrakten Form fasst das Kind die Vorstellung nicht auf. Gleich von vornherein bezieht es auf ihn alle seine Empfindungen. Sogar seine Gesichtseindrücke haben auf dasselbe keine andere Wirkung, als wären sie eine einfache Eigenschaft seines Auges. Aber nach und nach vervielfältigen sich seine Empfindungen, und indem sich dieselben verbinden, klären sie sich gegenseitig auf. Wenn es seine Hände an sich selbst hinführt, so fühlt es seinen Körper und sein Körper fühlt die Berührung; wenn es die Objekte berührt, welche es umgeben, so antwortet keine Empfindung auf die seiner Hand; es gelangt so zur Kenntnis von Objekten, welche nicht es selbst sind, und lernt den Objekten die Empfindungseindrücke zuschreiben, welche sie auf es selbst hervorbringen. Sicherlich ist die Vorstellung des Raumes schon für diese Em-

pfindungen, so beschränkt sie auch noch sein mögen, notwendig; aber es weiss davon nichts und empfindet im Raume, ohne ihn vorzustellen. Aber nach und nach lernt es seinen Körper und seine Glieder in Bewegung setzen, um zu den Objekten zu kommen, welche es umgeben, und erlangt so stufenweise die Vorstellung des Raumes und der Entfernung. Die Vorstellung des Raumes, anfangs roh und grob in dem Gehirne des Kindes, ist ursprünglich nur der Gedanke an die zu vollziehenden Bewegungen, um neuen Empfindungen entgegen zu gehen. Erst später und nach und nach macht die Vorstellung sich von ihren konkreten Formen los, verfeinert sich und fasst sich als ein reiner Gedanke auf, wenn sie auch im Grunde nur eine einfache Abstraktion ist, welche nur durch ihre unermessliche Allgemeinheit von so vielen andern Abstraktionen verschieden ist.

XI. Zusammenfassung und Schlüsse.

Ich verhehle mir nicht, dass die etwas abstrakte Natur des Gegenstandes meiner Abhandlung das Lesen derselben mühsam macht. Auch wird der eilige Leser, welcher wünscht, davon Kenntnis zu nehmen, ohne auf den Grund zu gehen und ohne die Schlüsse zu überlegen, mir Dank wissen, wenn ich ihm eine kurze Zusammenfassung der Hauptthatsachen und der erhaltenen Resultate gebe. Aber indem ich die Genauigkeit und Schärfe der Notwendigkeit, kurz zu sein, zum Opfer bringen muss, übernehme ich die Verantwortlichkeit für die Thatsachen und Schlüsse nur in den Sätzen, in welchen ich sie in dem Texte der Abhandlung ausgesprochen habe.

- - -

Früher sah man in den halbzirkelförmigen Kanälen des inneren Ohres nur einen Teil des Labyrinthes, wie die übrigen, zum Hören bestimmt. Heut zu Tage ist diese Meinung fast aufgegeben; die Physiologen nehmen im Allgemeinen an, dass diese Funktion, wenn sie vorhanden ist, eine nebensächliche, die Hauptfunktion aber von ganz anderer Art ist.

Man hat in der That bemerkt (ich werde mich nicht einer chronologischen Ordnung befleissigen) dass diese Organe zerstört werden können, ohne dass der Gehörsinn vernichtet wird,

während die Zerstörung der Schnecke den Verlust des Gehörs nach sich zieht.

Wenn die Verletzung dieses Apparates keinen grossen Einfluss auf das Hören hatte, so brachte sie äusserst intensive Erscheinungen anderer Ordnung hervor: konvulsivische Bewegungen der Augen, des Kopfes und des Körpers, deren Sinn durch die Wahl der verletzten Kanäle bestimmt wird, Verlust des Gleichgewichtes, eine tiefe Störung der Orientierung und Ortsbewegung. Andererseits zeigte die Beobachtung der von der Ménière'schen Krankheit Befallenen, als Wirkung der traumatischen Verletzung dieser Kanäle, Schwindelerscheinungen von grosser Heftigkeit. Endlich ergab die Analyse der Empfindungen, welche während der dem Körper erteilten Bewegungen verspürt werden, dass dieselben sehr deutlich sind und sich nur durch das Vorhandensein eines besonderen peripherischen Organes erklären lassen. Die halbzirkelförmigen Kanäle schienen durch ihre anatomische Struktur, durch ihre Anordnung mit drei aufeinander senkrechten Ebenen wie die drei Dimensionen des Raumes, einzig und allein das fragliche Organ vorstellen zu können.

Alle diese von den Autoren in verschiedener Weise ausgelegten Thatsachen haben eine gewisse Anzahl von Theorien erzeugt, in welchen diesen Kanälen die verschiedensten Funktionen zugeschrieben worden sind.

Man hat gesagt, sie dienten zur Orientierung des Kopfes in bezug auf seine Axen, zum Gleichgewichte des Kopfes und im Anschlusse daran des Körpers, sie riefen Bewegungen hervor, welche die des Kopfes kompensierten, sie liessen uns die von uns ausgeführten Drehbewegungen und Fortbewegungen erkennen, sie wären das Werkzeug für unsere Vorstellungen vom Raume, endlich sie dienten uns in gewisser Weise als Kompass, um mitten in unseren verschiedenen Wanderungen die Richtung des Ausgangspunktes wiederzufinden.

Die vorliegende Arbeit hat den Zweck, mit Hilfe eines neuen Untersuchungsverfahrens zu bestimmen, welche von diesen so verschiedenen Meinungen richtig wären, und welche verworfen oder modifiziert werden müssten.

Das Prinzip, von welchem ich ausgegangen bin, ist folgen-

des. Wir können die alltäglichen Wahrnehmungen, welche uns von unseren Sinnen geliefert werden, nur dann auslegen, wenn diese unter den gewohnten Bedingungen funktionieren. Bringt man sie unter ungewöhnliche Bedingungen, so wird der physische Eindruck modifiziert und es entstehen Sinnestäuschungen, bei denen die Empfindung, welche man wahrzunehmen glaubt, diejenige ist, welche entstanden sein würde, wenn das Organ auf dieselbe Weise unter den gewohnten Bedingungen seiner Thätigkeit erregt worden wäre. Man kann also von den Sinnestäuschungen, welche experimentell unter bekannten Bedingungen hervorgerufen worden sind, Belehrungen verlangen über die normalen Empfindungen, über ihren Sitz und über die Art und Weise ihres Zustandekommens.

In diesem besonderen Falle habe ich zu bestimmen gesucht, welche Veränderungen das abnorme Funktionieren der halbzirkelförmigen Kanäle, welches durch die abnormen Stellungen des Kopfes erhalten wird, für die Empfindungen der Richtung, der Orientierung und der Bewegung herbeiführen würde.

Es ist klar, dass die Empfindungen, welche durch diese abnormen Stellungen des Kopfes modifiziert werden, diesen Organen angehören können, während diejenigen, welche unveränderlich bleiben, ihnen fremd sind.

Die erste Frage, welche sich aufwirft, ist folgende:

Wenn unser Körper in Ruhe ist und unsere Augen geschlossen sind, welcher Sinn gibt uns dann die Empfindung der Richtungen im Raume?

Ist unser Kopf aufrecht und sind unsere Blicke hinter den geschlossenen Augenlidern horizontal vor uns hin gerichtet, so geben wir ohne Irrtum alle Richtungen im Raume an und geben uns genau Rechenschaft über die Orientierung unseres Körpers. Wenn unser Kopf eine in bezug auf irgend eine seiner Axen verschiedene Stellung annimmt, so werden unsere Urteile sogleich falsch und wir geben die Richtungen so an, als wenn der Raum sich um unsern unbewegten Kopf im umgekehrten Sinne um etwa 15° gedreht hätte.

Dies beweist, dass das Organ, mittelst dessen wir die Richtungen im Raume schätzen, im Kopfe gelegen ist.

Ist dieses Organ vom inneren Ohr abhängig? Die Antwort darauf ist folgende:

Wenn wir die Augen wenden, ohne den Kopf zu wenden, so entsteht die Täuschung voll und ganz; wenn wir den Kopf wenden und zugleich den Blick zwingen in der Axe der Augenhöhle zu verharren, so ist jegliche Täuschung verschwunden. Die Täuschung entsteht, wenn wir den Kopf wenden, nur, weil wir bei dieser Bewegung instinktiv und ohne unser Wissen die Augen mehr als den Kopf wenden, was gleichwertig ist einer Drehung der Augen in bezug auf den in richtiger Stellung verbliebenen Kopf.

Daraus schliesse ich, dass unsere statischen Empfindungen von den Richtungen im Raume uns durch das Auge und nicht durch die halbzirkelförmigen Kanäle überliefert werden.

Wir wollen wohl beachten, dass es sich hier nicht um Gesichtsempfindungen handelt und uns das Auge durch die Zusammenziehung der mit seiner Bewegung betrauten Muskeln belehrt.

Suchen wir nun das Organ zu finden, welches uns über die Orientierung unseres Körpers belehrt.

Wenn wir, von der Vertikalen ausgehend, mehr und mehr nach hinten geneigte Stellungen annehmen, so fällen wir anfangs ziemlich genaue Urteile über unsere Orientierung. Wenn wir uns aber der Horizontalen nähern, so glauben wir, im Gegensatze zu den Aussprüchen Mach's, mehr nach hinten geneigt zu sein, als wir es in Wirklichkeit sind. Der Irrtum nimmt sehr schnell zu und beträgt zuletzt über 50^0.

Diese Täuschungen entstehen, ohne dass die halbzirkelförmigen Kanäle aufgehört haben unter normalen Bedingungen zu funktionieren, sie haben entgegengesetzten Sinn zu denjenigen, welche die Augenbewegungen hervorzubringen suchen; man kann sie modifizieren, ohne irgend etwas in der Haltung des Kopfes, mithin auch ohne in den Drücken im Labyrinth etwas zu verändern, indem man die Muskel- und Hautempfindungen für die Berührung, die Stützung, die Aufrechthaltung verändert. Die entsprechenden Empfindungen sind also wahrscheinlich Tastempfindungen und sicher unabhängig von den halbzirkelförmigen Kanälen und dem Augenbewegungsapparate.

Die unserem Körper erteilten Drehbewegungen werden mit grosser Feinheit wahrgenommen. Wenn sie von kurzer Dauer sind, so empfinden wir nicht bloss die Winkelbeschleunigungen, sondern auch die Winkelgeschwindigkeiten und die Grösse der durchlaufenen Winkel. Nur bei fortdauernden Drehungen und ausserhalb der gewöhnlichen Bedingungen des Lebens verschwindet die Empfindung für eine gleichförmige Bewegung und es entsteht die Täuschung einer Drehung im umgekehrten Sinne nach dem Anhalten. Selbst unter diesen experimentellen Bedingungen sind wir immer empfindlich für die Veränderungen der Geschwindigkeit und nicht, wie Mach sagt, für diejenigen der Beschleunigung.

Wenn wir während einer Drehbewegung unserem Kopfe eine neue Stellung geben, so scheint die Drehungsaxe alsbald abzuweichen in derselben Ebene wie der Kopf und um einen gleichen Winkel aber im umgekehrten Sinne.

Wir schreiben unserem Körper die Bewegung zu, welche er gehabt haben würde, wenn er die normale Stellung im Zusammenhange mit dem Kopfe angenommen hätte.

Dies beweist, wie Mach bereits erkannt hatte, dass das Organ der entsprechenden Empfindungen im Kopfe liegt.

Ich beweise ausserdem, dass dieses Organ nicht das Auge ist, denn die begleitenden Augentäuschungen sind geringer und von entgegengesetztem Vorzeichen.

Die Natur der Empfindungen, die Dauer der umgekehrten Drehempfindung nach dem Anhalten beweisen, dass das Gehirn und die subarachnoidale Flüssigkeit auch ausgeschlossen werden müssen.

Es sind wirklich nur die halbzirkelförmigen Kanäle, welche durch ihre anatomische Struktur ebensogut von den Täuschungen, wie von den normalen Erscheinungen, Rechenschaft geben können.

Eine wirklich stattfindende Zirkulation der Endolymphe, wie sie Breuer angenommen hatte, würde alle Erscheinungen erklären, und da sie nicht stattfindet, wird man eine vollkommen gleichwertige Art der Erregung zu finden suchen müssen, denn alle vorgeschlagenen Erklärungen sind unzureichend.

Die Empfindungen der Fortbewegung sind viel weniger fein, als die der Drehbewegung.

Wie auch ihre Natur sein mag, gleichförmig oder wechselnd, so werden die Fortbewegungen voll und ganz von uns empfunden, mit allen ihren Charakteren der Geschwindigkeiten, der Ausdehnung und der Dauer, wenn sie kurz sind. Wenn sich ihre Dauer verlängert, so bestätigt sich das Mach'sche Gesetz, sie hören nämlich auf empfunden zu werden, wenn sie gleichförmig sind, und nur allein die Beschleunigungen zeigen sich deutlich.

Schnelles Anhalten veranlasst nicht die Empfindung eines Zurückgehens.

Die Bewegungen der Augen bringen während der Fortbewegung ebendieselben Täuschungen hervor, wie im Zustande der Ruhe, aber die Veränderungen in der Stellung des Kopfes geben zu keiner Täuschung Anlass. Dieser Unterschied von dem, was während der Drehbewegungen vor sich geht, lässt sich nicht durch eine vollständigere Erziehung der Empfindungen des Labyrinthes im ersteren Falle erklären. Man muss also schliessen, dass die normalen Empfindungen der Fortbewegung nicht ihren Sitz im Kopfe, also konsequenterweise auch nicht in den halbzirkelförmigen Kanälen oder im Utrikulus haben.

Diese Empfindungen scheinen allgemein zu sein, hervorgebracht durch eine Art innerer Bewegung von Flut und Ebbe, an welchen alle Flüssigkeiten des Körpers und alle festen Organe, welche mit einiger Beweglichkeit begabt sind, teilnehmen.

Wir können hier nicht die Gründe wiederholen, welche wir gegen gewisse andere Theorien geltend gemacht haben, und die wir im Anfange dieser schon zu langen Zusammenfassung aufgeführt haben.

In Summa scheint aus unseren eigenen Versuchen und aus denen unserer Vorgänger hervorzugehen, dass:

1. die halbzirkelförmigen Kanäle oder der Utrikulus nicht das Organ unserer Fortbewegungsempfindungen sind; nicht durch sie stellen wir uns den Raum mit seinen drei Dimensionen vor, nicht durch sie müssen wir die reine Vorstellung davon erlangt haben; sie befehligen nicht die Reflexbewegungen, welche durch Gehörseindrücke hervorgerufen werden; sie bilden nicht einen Sinn für die Richtung, welcher uns gestattet, mitten auf

unseren Wanderungen im Raume, in jedem Augenblicke die Richtung nach dem Ausgangspunkte wiederzufinden;

2. sie tragen nur auf indirektem Wege dazu bei, uns über die Orientierung des Kopfes und Körpers zu unterrichten und zwar nicht durch eine statische wirkliche Empfindung, sondern nur durch die Erinnerung an die ausgeführte Bewegung und durch ihre Einwirkung auf die Bewegungen der Augen;

3. ihre wirkliche Funktion, zugleich sensibel und excito-motorisch, scheint die zu sein, dass sie uns über die von unserem Kopfe allein oder in Verbindung mit dem Körper vollzogenen Drehbewegungen unterrichten und auf dem Wege des Reflexes diejenigen Bewegungen der Augen, welche die des Kopfes zu kompensieren haben, und die berichtigenden Muskelzusammenziehungen, welche zur Erhaltung unseres Gleichgewichts und zur genauen Ausführung unsererer allgemeinen Bewegungen dienen, hervorrufen.

Purkinje's Mitteilungen über Scheinbewegungen und über den Schwindel aus den Bulletins der Schlesischen Gesellschaft von 1825 und 1826.

Viertes Bulletin der naturwissenschaftlichen Sektion der Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur im Jahre 1825, pag. 8. (Ausserordentliche Beilage zu Nr. 86 der neuen Breslauer Zeitung.)

Herr Professor Purkinje las den 13. April über die Scheinbewegungen, welche im subjektiven Umfange des Gesichtsfeldes vorkommen. — Er unterschied zuerst wahre Bewegungen im organischen Subjekt sowohl, als ausser demselben, insofern sie sich auf Ortsveränderungen der Materie, oder bestimmter Qualitäten derselben im realen Raume beziehen, von den scheinbaren Bewegungen, die zunächst im idealen Raume vor sich gehen und aufs Objekt übertragen werden. Dann gab er die Methode an, welche man anzuwenden hat, um von der objektiven Anschauung zu abstrahieren und sich rein in den subjektiven Raum zu versetzen, welche Anschauungsweise er mit derjenigen vergleicht, in welcher der Staargestochene Blindgeborene befangen ist, ehe er sich durch allmähliche Uebung im objektiven Raume orientiert. — Darauf wurden mehrere Hauptphänomene der Scheinbewegungen sichtbarer Gegenstände ausführlich betrachtet, und zwar 1) wie es kommt, dass bei willkührlichen Bewegungen des Augapfels, wobei das Bild eines gesehenen Gegenstandes seine Stelle auf der Retina wechselt, — dennoch diese Bewegung nicht als solche wahrgenommen wird. Zur Erklärung wird ein allgemeiner Raumsinn angenommen, der alle spezifischen Sinne beherrscht, und ihre einzelnen Empfindungen und Anschauungen in sich einordnet. Die mit Bewusstsein vorgenommenen Empfindungen des Sinnesorganes werden bei dieser Funktion beseitigt, und die an demselben stattfindende Bewegung des Eindrucks wird auf diese Art ausgeglichen. — 2) Wird hingegen das Auge über die Maassen schnell bewegt, so dass die Besinnung der Bewegung nicht folgen kann, so kann diese Kompensation zwischen subjektiver Bewegung und ortsbestimmender Thätigkeit des Raumsinns

nicht vollkommen erfolgen, und man trägt dann die Scheinbewegung ins Objektive über. 3) Noch mehr findet dieses statt, wenn sich das Auge in einer unwillkürlichen Bewegung befindet, wie zum Beispiel beim Schwindel, wo das ganze Muskelsystem und mit ihm auch der Muskelapparat des Auges in einer abnormen Thätigkeit begriffen ist. Der Herr Professor hat sich nicht bloss durch Selbstbeobachtung, sondern auch an Wahnsinnigen, die im Drehstuhl gedreht wurden, überzeugt, dass dann die Augen von der schnellsten konvulsivischen Bewegung ergriffen sind. Es gilt also auch hier der allgemeine Satz, dass die bewusstlose subjektive Bewegung aufs Objekt übertragen, der Grund der Scheinbewegung ist. — 4) Wird der Blick zu oft durch sich bewegende Gegenstände, z. B. beim Anschauen einer Reihe Krieger, oder den Felgen eines Rades, oder den Wellen eines Stromes, — nach einer Richtung determiniert, so fixiert sich diese Bewegung und wird auf eine Zeitlang unwillkürlich, so dass sodann auch die ruhenden Gegensände in scheinbarer Bewegung erscheinen. — 5) Während dem durch ungewöhnlichen Lichtreiz erregten Blinzeln der Augen erscheinen die Gegenstände ebenfalls in einer oscillierenden Bewegung aus demselben Grunde der Uebertragung des subjektiven Unwillkürlichen aufs Objektive. — 6) Das plötzlich scheinbare Hereinspringen eines von der Seite sichtbaren Gegenstandes, wenn er von ungefähr bemerkt wird, muss auch von einem unwillkürlichen Entgegenkommen des Auges gegen das sich aufdringende Gesichtsobjekt abgeleitet werden. 7) Wenn man den Augapfel durch einen Druck mit dem Finger in eine passive Bewegung bringt, so erscheint das Gesichtsfeld ebenfalls samt allen seinen Gegenständen in scheinbarer Bewegung, welche nach der Richtung des Drucks verschieden und nach der Seite der Verrückung des Augapfels hin gerichtet ist. — 8) Noch eine andere Scheinbewegung kann erfolgen, wenn die Gestalt des Auges, ohne seine Lage zu verändern, durch Druck eine Modifikation erleidet, wobei das Bild auf der Retina seinen Ort wechselt. — 9) Beim willkürlichen Schielen des einen Auges gegen das andere kommen die Gesichtsfelder derselben gegen einander in scheinbare Bewegung, wobei das merkwürdig ist, dass jedesmal

das stärkere Auge das die Bewegung bestimmende ist, und dass die Gegenstände seines Gesichtsfeldes ruhend erscheinen, indess die des schwachsichtigen sich scheinbar bewegen, es mag das stärkere Auge schielen oder umgekehrt fixiert sein und das schwache schielen. 10) Was bisher von den blossen Bewegungen des Augapfels gilt, gilt auch, wenn dieser in der Augenhöhle fixiert und samt dem Kopfe bewegt wird. Die Fixierung geschieht am besten, wenn man das Auge stark nach oben wendet, wo dann die geringste Bewegung des Kopfes alle sichtbaren Gegenstände ins Schwanken bringt. — 11) Die Scheinbewegung der Gegenstände, die bei passiver Bewegung unseres ganzen Körpers, z. B. im Kahn, sichtbar wird, gehört auch hierher. — 12) Wenn das Auge einen bewegten Gegenstand mit dem Blicke verfolgt, so erscheinen die umliegenden ruhenden in Bewegung. Sind mehrere bewegte Gegenstände da, so wird jedesmal derjenige als ruhend erscheinen, dem das Auge in der Bewegung folgt, und zwar desto vollkommener, je mehr der Blick in dieser Thätigkeit verloren ist. — 13) Beim abwechselnden Schliessen und Oeffnen des einen und des andern Auges scheint der in der Nähe gesehene Gegenstand um die Distanz beider Augen aus einem Orte in den andern zu springen. — 14) Endlich wurde noch eines hierher gehörigen Versuches von Ch. Bell erwähnt, nach dem ein im Auge nach dem Anschauen eines glänzenden Gegenstandes zurückgebliebenes Blendungsbild bei vollkommener Finsternis während der Bewegungen des Auges stets ruhend erscheint und nur dann bei offenem Auge in Bewegung tritt, wenn es mit äusseren ruhenden Gegenständen verglichen werden kann.

Zehntes Bulletin der naturwissenschaftlichen Sektion der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur im Jahre 1825. (Ausserordentliche Beilage zu Nr. 8 der Neuen Breslauer Zeitung. Breslau den 14. Januar 1826.)

Herr Professor Purkinje lieferte den 30. November eine Relation seiner schon vor mehreren Jahren unternommenen physiologischen Versuche über den Schwindel und dessen Modifikationen, die er mit den neueren Flourens'schen Versuchen

über die Einwirkungen der Hirnverletzungen auf willkürliche Bewegungen (s. 7. Bullet. 1823) in Beziehung brachte.

Die einfachen Erfahrungen über die künstliche Erregung des Schwindels durch Bewegungen sind folgende: 1) Das Drehen um die senkrechte Axe des Kopfes bringt den allgemein bekannten horizontalen Schwindel hervor, dessen höchsten Grad man auf dem in Irrenhäusern gebräuchlichen Drehstuhl erfahren kann. — 2) Sehr merkwürdige Abänderungen in der Richtung seiner Scheinbewegungen erleidet der Schwindel, wenn bei dem Drehen des Körpers die Lage des Kopfes und mit ihm des Gehirns auf verschiedene Weise verändert wird. So ist, wenn man das Gesicht während dem Sichdrehen nach oben wendet, die Richtung des Schwindels, sobald der Kopf wieder in seine gewöhnliche Lage gebracht wird, ein senkrechtes Rad, dessen Querdurchmesser von einer Seite zur andern geht. Wird der Kopf bei dem Sichdrehen auf die eine oder andere Schulter gelegt, so ist der Schwindel in der Richtung eines senkrechten Rades, dessen Querdurchmesser von vorne nach hinten geht. Hiernach hängt also die jedesmalige Richtung des Schwindels von der Lage des Gehirns bei der ursprünglichen Bewegung ab. Herr Prof. Purkinje leitete dieses von der durch die Schwungbewegung der zarten halbflüssigen Hirnmasse mitgeteilten, beginnenden Cohäsions-Veränderung ab, die, indem sie das Gehirn zur Reaktion auffordert, eine Störung des Gleichgewichts in dem System der willkührlichen Bewegungen zur Folge hat. Diese Absicht wird durch die neuerlichen Versuche von Flourens über die Bestimmung des kleinen Gehirns, die Bewegungen zu ordnen, noch mehr bestätigt und wirft hinwiederum ein neues Licht auf dieselben zurück. Gleich bei der ersten Wiederholung der Flourens'schen Versuche war es dem Prof. Purkinje klar, dass das Tier nach Läsion des kleinen Gehirns, ohne seine Besinnung völlig zu verlieren, eigentlich in einem heftigen Schwindel begriffen sei und so bekam ihm auch das ganze Phänomen eine Haltung und Bedeutung, was Flourens bei allen seinen unzähligen Versuchen nur auf negative Weise als einen Verlust der Anordnungsfähigkeit der Bewegungen auszusprechen vermochte. Dies leitete ihn auch gewissermassen a priori auf

Versuche, auf die später Magendie nur durch den Zufall geraten war, nämlich durch Verwundung verschiedener Stellen und Seiten des Gehirns eine bestimmte Abänderung in der Richtung der reaktiven Bewegungen des ganzen Körpers hervorzubringen. Das allgemeine Resultat dieser Betrachtungen und Versuche ist, dass bei Flourens Experimenten nach Verwundung und Hinwegnahme verschiedener Teile des grossen und kleinen Gehirns verschiedene Richtungsschwindel erregt werden, die jene scheinbar konvulsivischen Bewegungen, als Versuche, das verlorene Gleichgewicht wieder zu erlangen, zur Folge haben.

Zweites Bulletin der naturwissenschaftlichen und botanischen Sektion der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur im Jahre 1826. (Ausserordentliche Beilage zu Nr. 43 der Neuen Breslauer Zeitung. Breslau den 16. März 1826.)

Den 1. Februar setzte Herr Prof. Purkinje seinen Vortrag vom 30. November a. p. über die physiologische Bedeutung des Schwindels und die Beziehungen desselben zu den neuesten Versuchen über die Hirnfunktionen fort. — Nach Erweisung des Satzes, dass der Schwindel, wie andere pathologische Erscheinungen, zu den gelegentlichen Funktionen des Lebens gehört, die nur unter ungewöhnlichen Bedingungen, als Gegenwirkung sich äussern, aber auch als solche, bestimmten Gesetzen unterworfen sind und dass er sich im inneren Sinne, als eine Verwirrung der räumlichen Anschauung, durch scheinbar den Objekten nicht entsprechende Bewegung, äusserlich aber durch unwillkührliche einseitige Muskelaktionen zu erkennen gibt, wurden folgende Entstehungs- und Aeusserungs-Arten des Schwindels näher beleuchtet.

1) Die Wirkung drehender Bewegung bei verschiedener Lage des Kopfes. Es wurde auf die hierdurch der Gehirnmasse mitgeteilten verschiedenen Bewegungen und auf die ihnen entsprechenden Tastempfindungen der Fusssohlen und der Hände aufmerksam gemacht und dargethan, dass während der Umdrehungen des Körpers, das Gehirn eine Zerrung nach der Richtung der Peripherie, von der Axe der Drehbewegung des Kopfes aus, erleidet, deren eigentümliche Nachwirkung in der

Lebenssphäre dann bei allen Veränderungen der Lage desselben noch eine Weile bleibend ist und so die Modifikationen der Richtung des Schwindels bestimmt.

2) Die Wirkung grader Bewegungen, z. B. beim schnellen Fahren, Reiten, Schaukeln etc. Hört eine solche Bewegung plötzlich auf, so entsteht entweder eine Scheinbewegung, die in derselben graden Richtung noch anzuhalten scheint, oder die willkührliche Bewegung nach dieser Richtung scheint einen Widerstand zu erleiden, oder nach der verschiedenen Lage, in der man auf der Schaukel gesessen hat, wird das Vor- oder Rückwärtsschreiten, oder das Gehen nach einer seitwärts Richtung erschwert oder erleichtert erscheinen, wie wenn die Schenkelmuskeln zu gewissen Bewegungen ersteift wären. Zu einer solchen Schwindelart gehört auch die Seekrankheit.

3) Die Wirkung der Hydatiden, z. B. die Drehkrankheit der Schafe. Sie besteht in einseitiger Irritation des Gehirns, die eine falsche Raum-Anschauung und so die ihr entsprechende Gegenbewegung zur Herstellung des Gleichgewichts des Körpers hervorbringt.

4) Die Wirkung des Galvanismus. Leitet man die Pole der galvanischen Säule durch beide Ohren, so wird der Kopf von einem schwindelhaften Zustande ergriffen. Die Richtung dieses Schwindels geht aufwärts von der rechten zur linken Seite, wenn der Kupferpol im rechten Ohr, der Zinkpol im linken ist; umgekehrt aufwärts von der linken zur rechten Seite, wenn der Kupferpol im linken und der Zinkpol im rechten Ohr sich befindet. Werden die galvanischen Leiter abgezogen, so tritt jedesmal der Schwindel in der entgegengesetzten Richtung ein.

5) Die Wirkung einseitiger Anhäufung oder Ableitung des Blutes durch Unterdrückung der Karotiden, Aderöffnung und durch die Coxe'sche Drehmaschine bringen vor der Ohnmacht Schwindel hervor, die nur im Grade, nicht in der Richtung der Bewegung von einander abweichen.

6) Die Wirkung narkotischer Mittel. In grösseren Quantitäten genossen, verdunkeln sie nicht nur das Bewusstsein, sondern verwirren auch die willkührliche Bewegungsthätigkeit. Beide Formen treten mehr oder weniger vereinigt in verschiede-

nen Arten des Rausches ein. Merkwürdig ist es, dass eine Kombination von Terpenthinspiritus und Weingeist, selbst in einer zu den Gaben der einzelnen Ingredienzen relativ sehr geringen Quantität (etwa 20 Tropfen) eine bedeutende Schwindelhaftigkeit, oder Disposition zum Schwindel bei gewöhnlicher Körperbewegung hervorbringt. Einzeln genommen, scheinen beide dieser Ingredienzen, durch betäubende Schläfrigkeit, zunächst aufs grosse Gehirn, in ihrer Verbindung aber, durch Störung des Bewegungsvermögens, auf das kleine Gehirn zu wirken.

7) Wirkung unmittelbarer Verwundung. Hier wurden die von ihm in Gemeinschaft mit Herrn Krauss [1]) angestellten Versuche beschrieben, die keinen Zweifel lassen, dass die durch sie erfolgenden, scheinbar unregelmässigen Bewegungen, wie beim Schwindel, nichts als Bestrebungen des Tieres sind, das Gleichgewicht wieder zu erlangen.

Hierauf wurde umständlich nachgewiesen, dass und welche verschiedentliche materielle Veränderungen und Verzerrungen im Gehirn bei diesen verschiedenen Einwirkungen entstehen müssen und Herr Prof. Purkinje ist geneigt anzunehmen, dass seinen Versuchen an Tieren zufolge, die Bewegungs-Erscheinungen zunächst von der Affektion des kleinen Gehirns und der Schenkel des grossen, die dabei stattfindende Betäubung aber von der Affektion des grossen Gehirns ausgehe, und machte schliesslich darauf aufmerksam, dass, da ein heftiger Schwindel ein wesentliches Element der Epilepsie zu sein scheint, eine genaue Beobachtung der Bewegungsrichtungen der Augen, des Kopfes und des ganzen Körpers bei dieser Krankheit, zur Erkennung ihres Sitzes wichtige Andeutungen geben dürfte.

(Der Direktor der Sektion Prof. Steffens erzählt darauf von Darwins Unters. über d. Schwindel.)

---

1) Die Versuche von Krauss sind niedergelegt in seiner Dissertation. De cerebri laesi ad motum voluntarium relatione, certaque vertiginis directione ex certis cerebri regionibus laesis pendante. Vratislaviae, 28. Dec. 1824.

nen Arten des Rausches ein.
Kombination von Terpent...
einer zu den ...